

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra mechanické technologie**

**NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ TITANOVÝCH SLITIN PRO  
TLAKOVÁ ZAŘÍZENÍ**

**PROPOSAL FOR WELDING TECHNOLOGY OF TITANIUM  
ALLOYS FOR PRESSURE VESSELS**

**Student:**

**Bc. Tomáš Kotas**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Ing. Martin Sondel, Ph.D.**

**Ostrava 2014**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kotas**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh technologie svařování titanových slitin pro tlaková zařízení**  
**Proposal for Welding Technology of Titanium Alloys for Pressure Vessels**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii svařování titanu a jeho slitin.
2. Zpracujte studii svařování vybrané metody pro Ti slitiny.
3. Navrhněte technologický postup svařování Ti slitiny pro tlaková zařízení.
4. Navrhněte ověření vlastností vybraného svarového spoje.
5. Ověřte vlastnosti vybraného svarového spoje.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.  
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

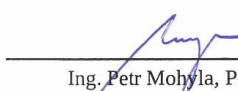
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Roman Stárek

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
Ing. Petr Mohyla, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísečné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16.5 2014

.....  
Bc. Tomáš Kotas

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2014

Podpis Bc. Tomáš Kotas

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Kotas

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sokolská 293, Zlaté Hory 793 76

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Bc. Kotas T. Návrh technologie svařování titanových slitin pro tlaková zařízení

katedra mechanické technologie. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014

diplová práce, vedoucí Ing. Martin Sondel, Ph.D.

V zájmu této diplomové práce je návrh technologie svařování titanových slitin pro tlaková zařízení pro firmu Ondřejovická strojírna a.s. Dosavadní výroba v této firmě je výroba tlakových zařízení z austenitických ocelí, černého plechu a přidružená výroba. Současný trend a neustálý vývoj dovedl Ondřejovickou strojírnu a.s. držet krok s vývojem a začít vyrábět a svařovat tlaková zařízení z titanu a jeho slitin. Zde je vystihnout podnět k návrhu výroby tlakových zařízení. Byly navrženy dvě varianty technologie svařování: – ruční pomocí svařování metody TIG, strojní strojem ORBITEC. V této práci je dále popsána problematika titanu a jeho slitin, včetně jeho mechanického zpracování a vlastní příprava svaru. V závěru práce se bude řešit přínosy pro firmu a zahájení výroby tlakových zařízení z titanových slitin.

## **ANNOTATION OF DIPLOMANTS THESES**

Bc. Kotas T. Proposal for Welding Technology of Titanium Alloys for Pressure Vessels

katedra mechanické technologie. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014

diplová práce, vedoucí Ing. Martin Sondel, Ph.D.

In the interest of this thesis is to design welding technology of titanium alloys for pressure equipment for the company as Ondřejovická strojírna. The current production at the company's production of pressure equipment made of stainless steel, black Peche and associated production. The current trend and constant evolution Ondřejovická strojírna works as keep abreast of developments and begin to produce a weld pressure equipment made of titanium and its alloys. Here is capturing in a proposal manufacture of pressure equipment. They were designed two variations of welding: - using manual TIG welding, machining machine Orbitec. In this paper further describes the problem of titanium and its alloys, including his own mechanical processing and preparation of the weld. In conclusion I will address the benefits for the company and the production of pressure equipment from titanium alloys.

# OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>1</b>	<b>Zpracujte studii svařování titanu a jeho slitin.....</b>	<b>11</b>
1.1	Historie titanu .....	11
1.2	Popis titanu .....	11
1.3	Výroba Titanu .....	12
1.4	Vlastnosti titanu .....	15
1.5	Titanové slitiny .....	16
1.6	Fyzikální vlastnosti titanu.....	18
1.7	Tepelné zpracování.....	19
1.8	Technologické vlastnosti titanu.....	20
<b>2</b>	<b>Zpracujte studii svařování vybrané metody pro Ti slitiny .....</b>	<b>21</b>
2.1	Svařitelnost Titanu a jeho slitin .....	21
2.2	Metody svařování titanu a jeho slitin .....	22
2.3	Svařování metodou TIG/WIG - 141 .....	22
2.4	Svařovací hořák .....	23
2.5	Elektroda .....	24
2.6	Přídavný materiál .....	25
2.7	Svařovací proud.....	26
2.8	Ochranný plyn .....	28
2.9	Plynová zařízení pro ochranu titanu .....	29
2.10	Ruční svařování .....	31
<b>3</b>	<b>Navrhněte technologický postup svařování Ti slitiny pro tlaková zařízení.....</b>	<b>33</b>
3.1	Vrtání otvorů procesních trubek pro svařování .....	33
3.2	Dělení Titanové plechu .....	35
3.3	Svařování procesních trubek orbitem do trubkovnice .....	38
<b>4</b>	<b>Navrhněte ověření vlastností vybraného svarového spoje. ....</b>	<b>41</b>
4.1	Příprava svarových ploch .....	41
4.2	Volba parametrů svařování.....	41
4.3	Svařování automatem Orbitec KG100 .....	41
<b>5</b>	<b>Ověřte vlastnosti vybraného svarového spoje. ....</b>	<b>42</b>
5.1	Svařovací postup svarového spoje .....	42
5.2	Protokol o zkoušení svarového spoje trubka – trubkovnice .....	44
5.3	Podélný svar na trubce .....	48

<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>53</b>

## SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ:

<u>Značení</u>	<u>význam</u>	<u>jednotka</u>
A	Tažnost	%
AC	Střídavý proud	A
Ag	Stříbro	-
Al	Hliník	-
ASTM	Americká technická norma	-
DC	Stejnoseměrný proud	A
DIN	Německá státní norma	-
I <sub>p</sub>	Proud natavení materiálu	V
I <sub>z</sub>	Základní proud	V
MIG	Obloukové svařování tavící se elektrodou	-
Mn	Mangan	-
pWPS	Technologický návrh	-
Re	Mez kluzu	MPa
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	MPa
Sn	Cín	-
Ti	Titan	-
TIG	Svařování netavící se elektrodou	-
TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý	-
Zn	Zinek	-



## Úvod

Typický jev, 20. a 21. století je velmi vysoký pokrok techniky. Pro neustálý vývoj se uplatňují a vyvíjejí nové materiály s vynikajícími vlastnostmi. Tyto materiály mají záruky vysoké pevnosti, dobré fyzikální a mechanické vlastnosti. Tato charakteristika je především pro slitiny kovů. Některé kovy jako například titan nemají dlouhou historii, ba naopak v dnešní době se řadí mezi špičkové materiály a jsou nepostradatelné z řad technických materiálů.

Titan a jeho slitiny se stále více používají ve strojním průmyslu, mezi výhody tohoto materiálu patří jeho vysoká pevnost, velmi malá měrná hmotnost a vysoká odolnost i v náročných podmínkách. Titan a jeho slitiny jsou dnes materiály na špičkové úrovni, avšak vykazují velmi vysoké nároky na zpracování a vlastní použití. Opracování a zpracování titanu je složitý proces, ale velmi důležitý. Tento postup nesmíme zanedbat.

Cílem této diplomové práce je získat všeobecný přehled o titanu a jeho slitinách. Dále by měla tato práce vést k úspěšnému konci a zahájení svařování tlakových nádob z titanu ve firmě Ondřejovická strojírna a. s.

## O společnosti

Závod vznikl v roce 1899 pod firmou Hassmann a syn a od prvopočátku zde byla zavedena strojírenská výroba, která byla zaměřena na produkci kamenických strojů. V roce 1912 byl závod připojen k podniku se sídlem v Bilsku. Struktura výroby byla rozšířena o výrobu strojů na opracování dřeva, zařízení pro lihovary, ruční čerpadla a turbín vodních elektráren. V roce 1949 převzal závod n.p. Ostroj Opava a dochází k postupné změně výrobního programu. Závod vyráběl drobné důlní stroje a součásti celků pro důlní mechanizaci, jako např. hydraulické stojky a transportéry. V roce 1961 se stal závod součástí Moravských chemických závodů Ostrava a začíná vyrábět široký sortiment výrobků pro chemický průmysl a tlakové nádoby. Charakter výroby se změnil z malosériové na kusovou s vyššími nároky na kvalifikovanost technických a dělnických profesí. V rámci velké privatizace byl závod prodán Ondřejovické strojírně spol. s r.o. Společnost se specializuje na výrobu tlakových zařízení podle českých norem a zahraničních standardů ASME Code, AD 2000, GOST R, ÚDT. Společnost je

oprávněna k výrobě vyhrazených technických zařízení pro jadernou energetiku. Je rovněž monopolním výrobcem bezucpávkových čerpadel (typ Forman), určených pro agresivní media. V současnosti jsou zde vytvořeny technologické, kvalifikační a výrobní podmínky pro zvládnutí výroby náročných výrobků a zařízení. V únoru roku 2010 došlo k fúzi společnosti Ondřejovická strojírna spol. s r.o. a společnosti Fagonia Consulting. Výsledkem této fúze byl vznik společnosti Ondřejovická strojírna a. s.

## **Podstata diplomové práce**

Cílem práce je navrhnout technologii výroby tlakových nádob vyráběných s titanu a jeho slitin. Nesmíme také opomenout jeho přípravu a technologické procesy související s výrobou.

K dosažení a vyhotovení této diplomové práce je nutno splnit:

- Studii zpracování titanu a jeho slitin
- Technologie svařování zvolenými metodami
- Volba vhodného technologického postupu a nejvhodnější metoda svařování
- Volba vhodného svarového spoje
- Závěrečné zhodnocení

# 1 Zpracujte studii svařování titanu a jeho slitin

## 1.1 Historie titanu

V roce 1791 objevil anglický pastor William Gregor v cornwallském pohoří pískovou rudu. Po rozboru bylo zjištěno, že obsahuje asi 50 % magnezitu spolu s oxidem neznámého prvku. Gregor dal tomuto materiálu jméno podle místa, kde byl nalezen, tedy menakanit. V roce 1795 německý chemik M. K. Klaproth identifikoval nový minerál jménem rutil, který opět obsahoval z většího množství oxid téhož neznámého prvku, který nazval titanem. Zjistil, že prvek co objevil je shodný s prvkem menšin. Nové pojmenování zůstalo dle Klaprotha titan a od něj se vyvíjela chemická značka Ti. Prvek byl po celou dobu neznámý až v 19. Století byly nalezeny další minerály obsahující titan, ovšem nedokázalo se tento prvek izolovat. Nejdříve byl vyroben oxid titaničitý, který se začal používat v chemickém průmyslu. V roce 1910 M. A. Hunter zajistil čistý kov 99,5 %. To vedlo k dalším krokům a zjištění vlastností tohoto prvku. Podařilo se po dalších 40 letech vytvořit způsob výroby čistého prvku k tovární výrobě. Na tomto zjištění měl zásluhu W. Kroll. Nesmíme však opomenout, že ve vývoji titan velmi zaostával. Překonaly ho i kovy, které byly nalezeny mnohem později jako je Al a Mg. Kolem roku 1960 dosáhla produkce titanu na cca 15 000 t ročně. V 70. letech se začalo vyrábět 60 000 t ročně. V roce 2002 vzrostla produkce skokovým tempem na 8 000 000 t za rok. Dnes se titan používá v mnoha odvětvích a upřednostňuje se před ostatní materiály. [1]

## 1.2 Popis titanu

Titan Ti, který můžeme vidět na obrázku níže je prvkem IV. Skupiny periodické soustavy. Barvu má šedou až stříbrně lesklou. Mezi velkou přednost patří především tvrdost a lehkost zároveň. V zemské kůře je sedmým nejrozšířenějším prvkem. Obsah množství bylo zjištěno 6g/Kg. Titan je pod atomovým číslem 22 a jeho relativní atomová hmotnost je 47,876 amu. Velmi dobře vede teplo a elektřinu. [1]



**Obrázek 1: Čistý titan**

### **1.3 Výroba Titanu**

Převážná část titanu se v dnešní době vyrábí pomocí Krollovi metody. Postup začíná tak, že rudy titanu tedy rutil nebo ilmenit, se zahřívají spolu s uhlíkem v proudu chlórů. Průmyslová výroba titanu se skládá ze čtyř základních operací:

Příprava materiálu pro chloraci

Výroba chloridu titaničitého

Redukce titanové houby

Přetavování Ti houby na kujný titan

Obtíže při výrobě titanu působí jeho značná reaktivnost s kyslíkem, dusíkem a vodíkem, které i při velmi malém obsahu zvyšují jeho tvrdost a křehkost oproti snížení jeho tvářitelnosti. [2]

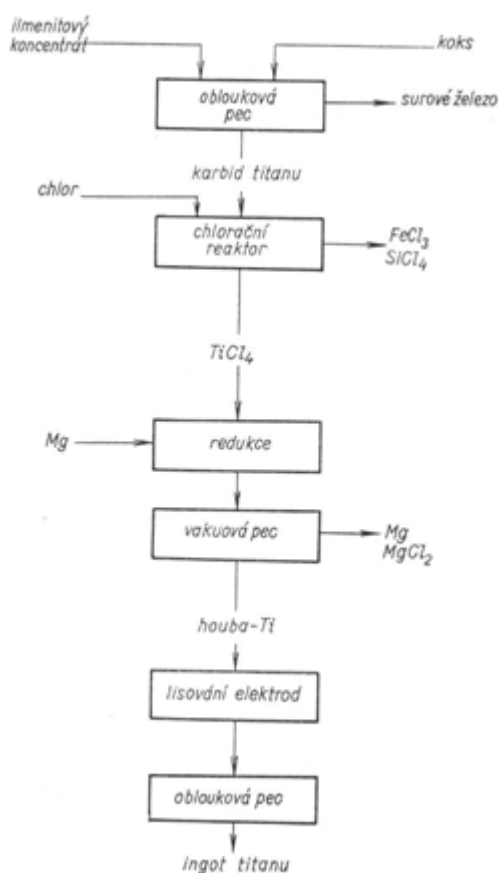
#### **Příprava materiálu pro chloraci**

Zpracovává se rutil, v podstatě přírodní  $\text{TiO}_2$ , míchá se pouze s uhlím v poměru 3 : 1 a briketuje, hlavní surovinou při výrobě je ilmenit, jehož přímou chlorací by vznikla směs chloridu titaničitého a železitého. Proto se ilmenit nejdříve selektivně redukuje v obloukové peci. [2]

#### **Výroba chloridu titaničitého**

Brikety z  $\text{TiO}_2$  s uhlím se chlórují v šachtových pecích odporově vyhřívaných na teplotu 800 °C, při kterých probíhají reakce. Chlorid titaničitý uniká v parách a jímá se

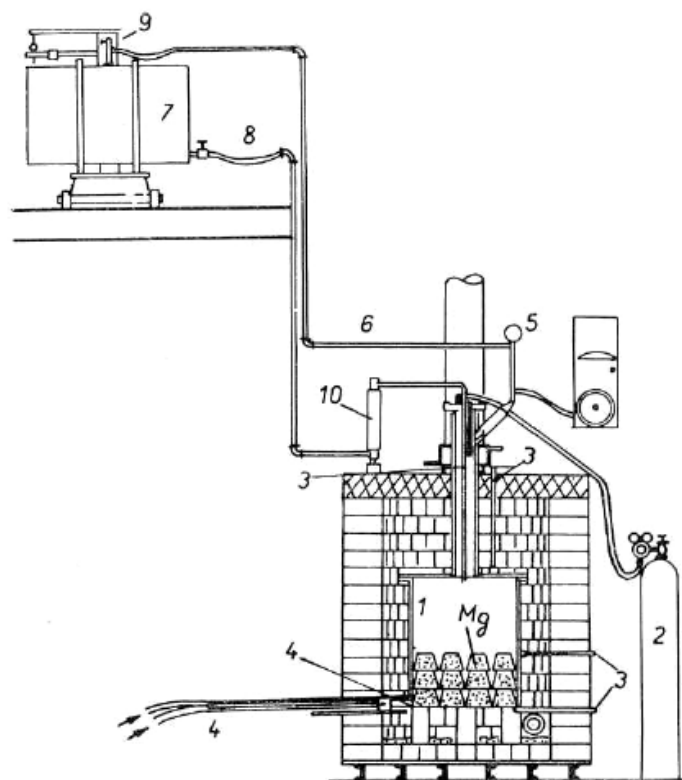
v kondenzátorech jako nažloutlá kapalina. Před vlastní redukcí se chemický čistí od původních kovů a znovu destiluje. [2]



Obrázek 2: Schéma výroby titanu dle Krolla [7]

### Redukce titanové houby

Nejrozšířenější je redukce chloridu titaničitého hořčíkem, která probíhá v kelímcích pod ochrannou atmosférou argonu nebo helia. Redukce reaguje při teplotě 850°C – 920°C páry přitékajícího chloridu titaničitého s roztaveným hořčíkem. Při reakci vzniká chlorid hořečnatý a zbytky hořčíku se odstraňují chemicky – loužením zředěnou kyselinou solnou nebo také vakuovou destilací. Vyredukovaný kov vytváří na stěnách kelímků nebo vložek vrstvu Ti houby. [2]



**Obrázek 3: Zařízení pro výrobu titanu dle Krolla**

**1 – kelímek s víkem, 2 – bomba s argonem, 3 – termoelektrické články, 4 – otvor na odpouštění  $\text{MgCl}_2$  s chladicím zařízením, 5 – manometr, 6 – trubka na vyrovnání tlaku, 7 – nádrž na  $\text{TiCl}_4$ , 8 – Trubka na dávkování  $\text{TiCl}_4$ , 9 – ochranný uzávěr, 10 – měřidlo množství  $\text{TiCl}_4$  [7]**

### **Přetavování Ti houby na kujný titan**

Z titanové houby se získává kujný kov převážně přetavováním v elektrické obloukové peci do měděné kokily chlazené vodou. Taví se semoodtavovací elektrodou, získanou slisováním. Ti houby. Pracuje se ve vakuu nebo v atmosféře argonu.

Výroba titanu se zkoumala elektrolýzou z taveniny – pracuje se s taveninou solí obsahující subchloridy titanu v inertní atmosféře. Pro ocelářské účely se přímo z koncentrátů vyrábí redukci hliníkem ferotitan s obsahem 20 – 40 % Ti

## 1.4 Vlastnosti titanu

Titan je polymorfní kov, který má bílé zbarvení o měrné hmotnosti  $4,5 \text{ Kg.dm}^{-3}$  a teplotou tání  $1668 \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Čistý titan má velmi nízkou tepelnou vodivost a velmi nízký koeficient tepelné roztažnosti, což vede k jeho dobré svařitelnosti. Velmi důležitou roli na vlastnosti titanu mají nečistoty, které se do kovu dostávají při jeho výrobě. Již Nepatrné množství nečistot ovlivňuje značně vlastnosti titanu. [2]

Titan má stabilní hexagonální krystalickou mřížku  $\alpha$  až do teploty  $882 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , kde dochází k přeměně na mřížku prostorově centrovanou kubickou mřížkou  $\beta$ . V této modifikaci a s touto mřížkou je stabilní až do teploty tání. [3]

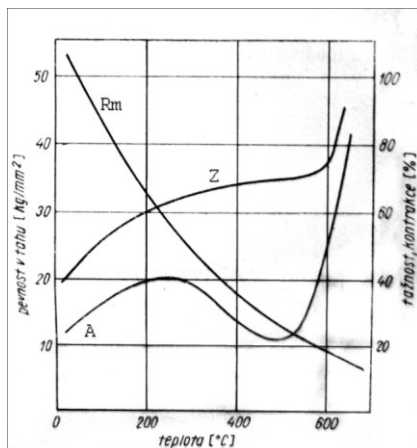
V Modifikaci titanu  $\alpha$  a  $\beta$  se dobře rozpouští kyslík a dusík. Při modifikaci  $\alpha$  dochází ke stabilizaci. Vyšší obsah kyslíku a dusíku v kovu způsobuje zvýšení pevnosti, tvrdosti a meze kluzu. Na druhou stranu se snižují tažnost a houževnatost. Maximální dovolené procento v technickém titanu je 0,15% kyslíku a 0,05% dusíku. [3]

K rozpustnosti uhlíku u obou modifikací titanu za běžných teplot je 0,25%. Pokud se vyskytne větší procento uhlíku, dochází ke vzniku karbidu titanu  $\text{TiC}$ . Uhlík ovlivňuje ve značné míře mechanické vlastnosti podobně jako kyslík a dusík, který navíc zhoršuje svařitelnost. [3]

Nelegovaný titan a všechny slitiny titanu alfa jsou svařitelné. Většinu beta slitin lze svařovat, ale svar může být velmi křehký, proto by mělo následovat tepelné zpracování. Nelegovaný titan je obvykle k dispozici v několika stupních, v rozsahu v čistotě z 98,5 na 99,5% Ti. Tyto stupně jsou posíleny změnami v kyslíku, dusíku, uhlíku a železa. Zpevnění tvářením za studena je možné, ale používá se jen zřídka. Všechny stupně jsou obvykle přivařeny v žíhaném stavu. [4]

Titan je charakteristický tím, že při rostoucí teplotě klesá pevnost. Kladné vlastnosti můžeme využít při teplotě kolem  $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při přesažení těchto teplot, nesmí být titan vystavován extrémnímu namáhání. Pokud budeme udržovat nižší teploty, budou se zvyšovat mez pevnosti, kluzu a modul pružnosti oproti zmenšení tažnosti, kontrakce a

vrubové houževnatosti obr. 5. Pokud žiháme na vzduchu, nedochází ke hrubnutí zrna ani při vysokých teplotách. [4]



Obrázek 4: Změna mechanických vlastností s teplotou [4]

## 1.5 Titanové slitiny

### $\alpha$ - slitiny (Ti – Al, Ti – Al – Sn, Ti – Al – Zn)

Legující prvky Al, Sn, Zn, a nečistoty O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, C rozšiřují oblast  $\alpha$  – fáze směrem k vyšším teplotám. Základním prvkem k legování je Al, pevnost této slitiny je při vyšších teplotách větší, oproti klesajícím plastickým vlastností. Maximální obsah Al ve slitině je 8%. Nejvíce rozšířená a používaná slitina je Ti – Al 5 – Sn 2,5. Tato slitina se používá až do teploty 500 °C. Mezi vlastnosti této slitiny můžeme zařadit: [1]

Re = 820 Mpa

Rm = 860 Mpa

A = 18%

### $\alpha + \beta$ slitiny

Mezi výhody těchto slitin jsou velmi dobré pevnostní charakteristiky včetně vysokého poměru pevnostní k měrné váze a vysokého poměru mezi sírany k mezi pevnosti. Pokud chceme změnit mechanické vlastnosti slitin, musíme použít výhradně



tepelné zpracování.  $\beta$  – fázi stabilizují legující prvky: (Mo, Cr, Mn, Ta, V, Fe). Mezi typické slitiny řadíme: [1]

Ti – Mn 8

Ti – Al 5 – Mn 2

Ti – Al 7 – Mo 3

Ti – Al 6 – V 4 – nejčastěji užívaná slitina

## $\beta$ slitiny

Jednou z výhod těchto slitin je dobrá tvářitelnost a zachování vlastností až do teplot 500 °C. Typickými představiteli slitin jsou:

Ti - Mo 15

Ti – Al 3 – Mo 8 – Cr 11

Ti – Al 3 – Cr 11 – V 13

Po zakalení a stárnutí těchto slitin se dosahuje velmi vysokých pevnostních vlastností:

$R_m = 1220 - 1320 \text{ Mpa}$

$A = 5 - 8\% [1]$

**Tabulka 1: Mechanické vlastnosti titanu**

	Mez pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Prodloužení $A_5$ [%]
<b>Grade 1</b> <b>W.Nr. 3.7025</b>	min. 240 290 - 410	170 – 310 min. 180	24 30
<b>Grade 2</b> <b>W.Nr. 3.7035</b>	min. 345 390 - 540	275 – 450 min. 250	20 22
<b>Grade 3</b> <b>W.Nr. 3.7055</b>	min. 450 460 - 590	380 – 550 min. 320	18 18
<b>Grade 4</b> <b>W.Nr. 3.7065</b>	min. 550 540 - 740	483 – 655 min. 390	15 16
<b>Grade 7 + Pd</b> <b>W.Nr. 3.7235 + Pd</b>	min. 345 390 - 540	275 – 450 min. 250	20 22
<b>Grade 11 + Pd</b> <b>W.Nr. 3.7225 + Pd</b>	min. 240 290 – 410	170 – 310 min. 180	24 30
<b>Grade 5 6Al – 4V</b> <b>W.Nr. 3.7165</b>	min. 895 min. 900	min. 828 min. 830	10 8 – 10
<b>Grade 5 6Al – 4V</b> <b>ELI</b> <b>ASTM F 136</b>	825 - 860	760 - 795	8 - 10

## 1.6 Fyzikální vlastnosti titanu

Teplota varu: 3 260 °C

Teplota tavení: 1668 °C

Vzhled a zápach: tmavě šedý nebo stříbrný kov, bez zápachu

Měrná hmotnost: 4, 507 kg.dm<sup>3</sup>

**Tabulka 2: Fyzikální vlastnosti**

	Třída 1		Třída 2		Třída 3		Třída 4		Třída 5	
	20°C	400°C	20°C	400°C	20°C	400°C	20°C	400°C	20°C	400°C
<b>Hustota [kg.dm-3]</b>	4510		4510		4510		4510		4450	
<b>Střední měrné teplo [J.kg-3.K-1]</b>	0,52	0,63	0,52	0,63	0,52	0,63	0,54	0,63	0,56	
<b>Součinitel délkové roztlačnosti [10-6m.m-1K- 1]</b>	8,9	9,3	8,9	9,3	9,0	9,4	9,1	9,5		8,9
<b>Měrná tepelná vodivost [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>	21	17	20	17	20	16	18	18	7,1	
<b>Měrný elektrický odpor [Ω.mm2.m<sup>-3</sup>]</b>	0,47	1,18	0,48	1,18	0,52	1,2	0,55	1,22	1,71	
<b>Modul pružnosti v tahu [GPa]</b>	105	80	105	80	105	80	106	82	114	

## 1.7 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování titanových slitin zahrnuje žihání na snížení pnutí, rozpouštěcí žihání a rekrystalizační žihání. Mechanické vlastnosti titanových slitin a režimy tepelného zpracování se liší podle druhu použité slitiny, jak můžeme vidět v tabulce.

**Tabulka 3: Tepelné zpracování**

	<b>Materiál</b>	<b>Rozpětí teplot [°C]</b>	<b>Doporučená teplota [°C]</b>	<b>Doba výdrže</b>	<b>Ochlazování</b>
<b>Žihání</b>	CP Titan (Kom.čistý)	600 – 800	700	2 min/mm min 10 min max 20	Na vzduchu
	TiAl6V4	700 – 840	730	2 min/mm min 30 min max 300 min	Na vzduchu nebo v peci do 500 °C, po té na vzduchu
	TiAl6VSn2	700 – 840	730	2 min/mm min 30 min max 480 min	Na vzduchu nebo v peci do 500°C, p té na vzduchu
	<b>Materiál</b>	<b>Rozpětí teplot [°C]</b>	<b>Doporučená teplota [°C]</b>	<b>Doba výdrže</b>	<b>Ochlazování</b>
<b>Snížení vnitřního pnutí</b>	CP titan	500 – 600	550		Na vzduchu
	TiAl6V4	550 – 700	675		Na vzduchu nebo v peci do 500°C

## 1.8 Technologické vlastnosti titanu

Pro použití a výrobu titanových polotovarů jsou důležité technologické vlastnosti, na které má ve velké míře vliv tření. Tření se skládá ze tří veličin: součinitel tření, otěr a náchylnost k zadírání. Oproti ostatním kovům má titan při pohybu vysokou náchylnost k zadírání, jak můžeme vidět v tab. 1. Tato vlastnost je způsobena tak, že obvyklá lidická vrstva snadno připravuje třecí plochy. Můžeme tedy říci, že při tření se zlepšují podmínky umělým vytvořením lidické vrstvy. Můžeme také použít další metodu jako je například nitridace. S použitím klasických maziv se součinitel tření příliš nemění. To má za následek nedostatečná adsorpcí molekul maziva na povrchu titanu. Jedno z nejlepších maziv se pro titan a jeho slitiny řadí grafit nebo syrník molybdeničitý. [3]

**Tabulka 4: Porovnání titanu se slitinami**

<b>Zkoušená slitina</b>	<b>Úbytek (mm)</b>	<b>Počátek otáček</b>
Ti – Titan	0,1	470
Ms62 –Pb1	0,033	3600
Cu – Pb10 – Zn2	0,031	5100
Chromová ocel	0,029 – 0,038	3000 - 7600

## **2 Zpracujte studii svařování vybrané metody pro Ti slitiny**

### **2.1 Svařitelnost Titanu a jeho slitin**

Zaručená svařitelnost titanu a jeho slitin je zaručena za předpokladu, že svarová lázeň a tepelně ovlivněná oblast je dokonale chráněná inertním plynem, většinou argonem před vnější, či okolní atmosférou. [1]

Svařitelnost je ovlivněna jeho schopností absorbovat plyny zhruba do teploty 500 °C, což vede ke zvýšení pevnosti oproti klesající houževnatosti. Už poměrně nízký obsah plynu v základním materiálu nebo ve svarovém kovu může vést k úplnému zkřehnutí svarového spoje. [1]

#### **Příklad svařitelnosti komerčního čistého titanu (CP – titan):**

a) Třída 1 a 2 jsou nejvíce vhodné ke svařování. Houževnatost materiálu i bez tepelného zpracování po svařování je velmi dobrá, dalo by se říci, že je o 25% lepší než minimum základního materiálu a mez pevnosti je větší než u rozpracovaných výrobků.

b) Třída 3 má dostačující svarové vlastnosti a všeobecně není potřeba dělat tepelné zpracování po svařování. Mechanické vlastnosti prokazují lepší hodnoty než minimální stanovené normou ASTM. Pro zlepšení tvárnosti svaru se vybírá materiál s nízkým obsahem kyslíku  $O_2 = 0,25\% \text{ max.}$  v souladu s normou DIN a použití přídatného materiálu ASTM Gr.2 [1]

c) Třidu 4 nepoužíváme pro svařence z důvodů malé houževnatosti.

## 2.2 Metody svařování titanu a jeho slitin

**Ke svařování titanu nejčastěji používáme tyto metody:**

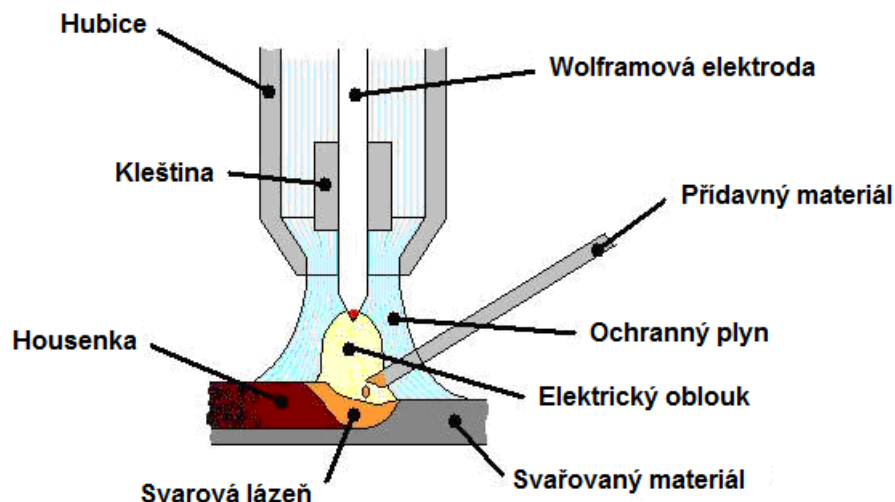
- a) TIG/WIG - 141 - Tungsten Inert Gas
- b) MIG – 131 - Metall inert Gas
- c) svařování pod tavidlem - 121
- d) svařování odporem
- e) svařování tlakem za studena
- f) pájením Ag – pájkami s vysokým obsahem stříbra

Máme zde vyobrazeny základní metody svařování titanu a jeho slitin, ovšem nej kvalitnější a nejlepší spoje zaručuje metoda TIG, kterou se svařuje také ve firmě ONDRSTROJ, pro kterou píší diplomovou práci. Tudíž největší pozornost bude věnována metodě TIG. [1]

## 2.3 Svařování metodou TIG/WIG - 141

Zkratka TIG pochází z angličtiny a v překladu znamená tungem inert gas (svařování v ochranné atmosféře wolframovou elektrodou v inertním plynu). Některá literatura také udává zkratku WIG jak je vidět v názvu kapitoly jen s tím rozdílem, že tato značka pochází z německého jazyka. Při svařování metodou TIG hoří elektrický oblouk mezi netavicí se wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem. Přídavný materiál se přidává ručně ve formě svařovacího drátu nebo podavačem drátu při automatickém svařování. Tavná lázeň je, elektroda a tepelně ovlivněná oblast je chráněná většinou argonem, heliem nebo jejich směsí. Musíme dbát na vysokou čistotu plynu. [3]

Metoda TIG se díky vysoké kvalitě svarů, a snadném ovládnutí oblouku používá u většiny svařovaných materiálů. Stejnoseměrným proudem se svařuje měď, ocel, nerez, nikl, titan. Můžeme používat také střídavého proudu nebo impulsního proudu pro menší vnesení tepla do svarového kovu a tepelně ovlivněné zóny. Jednou malou nevýhodou tohoto svařování je, že tato metoda je zdoluhavá, oproti úkoru kvality svaru. [3]

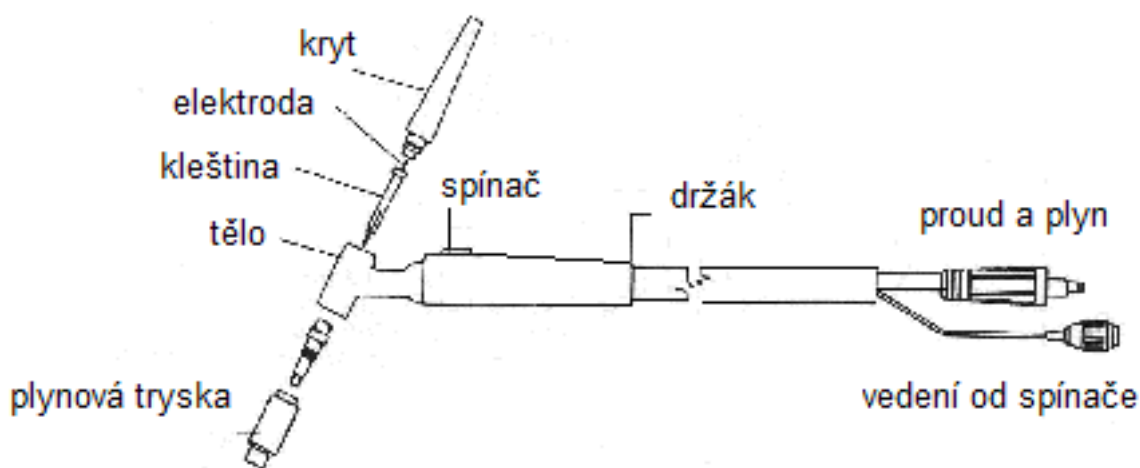


**Obrázek 5: Svařovací hořák s netavící se wolframovou elektrodou [9]**

## 2.4 Svařovací hořák

Svařovacím hořákem je zajištěno přivedení elektrického proudu a ochranného plynu do svaru. Pokud svařujeme proudem do 200 A chladíme hořák proudícím plynem. Pokud svařujeme proudem nad 200 A musíme použít chlazení vodou, které aplikujeme u strojního svařování. [3]

Kleština, která je z mosazi nebo mědi slouží k uchycení a přenosu proudu na wolframovou elektrodu. Aby se snížil, či eliminoval přechodový odpor, musí být elektroda velmi pevně uchycena. Pro individuální průměry elektrod musí být odpovídající kleština. Ochranný plyn proudí ke svaru přes trysku. Velikost této trysky se určuje podle oblasti, která má být plynem chráněná, na velikosti elektrody a v neposlední řadě tvaru svarového spoje. Nejčastěji se používají keramické trysky a pro chlazení vodou se používají měděné a pochromované trysky. Můžeme používat také plynovou čočku, která zamezí lamelárnímu proudění. S použitím čočky můžeme více vysunout elektrodu a svařovat místa hůře dostupné. [3]



Obrázek 6: Svařovací hořák [8]

Tabulka 5: Proudový rozsah - průměr trysky

Proudový rozsah [A]	Průměr plynové trysky [mm]
do 70	6 – 9
70 – 150	9 – 11
150 -250	11 – 13
250 – 300	13 – 15
300 - 500	15 - 18

## 2.5 Elektroda

U metody TIG používáme wolframovou elektrodu, protože jako jediná z čistých kovů má nejvyšší teplotu tavení 3410 °C, během svařování nemění své vlastnosti, zůstává v tuhé fázi, a proto neubývá. Může ale pomalu odhořívát, nebo se nalepí na špičku přídavný materiál. Pro zlepšení vlastností, například pro snížení teploty a zvýšení životnosti elektrody a snadnější zapálení a stabilní hoření oblouku, se používají elektrody ze slitin wolframu. Přídavné materiály jsou např.: cer, thorium, lanthan a zirkon. Elektrodu vybíráme dle druhu proudu a svařovaném materiálu. Průměry elektrod jsou od 0,5 – 10 mm a délky mohou být od 50 – 175 mm [5]



Při svařování titanu se dříve používaly elektrody s obsahem 1% - 2% thoria, které jsou vytvarované do špičky se zaobleným hrotem. Nyní se nahrazují elektrodou ABICOR BINZEL E3 -

Elektrody dotované vzácnými zeminami (směsí kyslíčnicků). V porovnání s thórovanými elektrodami představuje tato elektroda značně menší zátěž pro životní prostředí a není radioaktivní. Bezthórové, neradioaktivní elektrody jsou použitelné v celém výkonovém rozsahu pro svařování nelegovaných i vysokolegovaných ocelí, slitin hliníku, titanu, niklu, mědi a hořčíku stejnosměrným (DC) i střídavým (AC) proudem. Díky svým vynikajícím zapalovacím vlastnostem se nejlépe hodí pro automatizované procesy. V důsledku nižší teploty těchto elektrod se v porovnání s thórovanými elektrodami zvyšuje jejich proudová zatížitelnost a životnost.

**Barevné značení: E3<sup>®</sup> = lila [5]**



**Obrázek 7: Wolframová elektroda ABICOR BINZEL E3 [10]**

## 2.6 Přídavný materiál

Přídavný materiál při svařování metodou TIG přidáváme takřka vždy, výjimkou je pouze svařování tenkých materiálů. Podle daného použití je vyroben z různých materiálů a na různé rozměry. Přídavný materiál je ve formě drátu, který se ručně přidává do svarové lázně.

Pro svařování titanu se přidává svařovací materiál podle standardu AWS A5. 16-90.

Při ručním svařování používáme drát o průměru 1,6 mm pro svařování natupo do tloušťky materiálu 4,5 mm. Po překročení této tloušťky používáme dráty větších průměrů 2,4, 3,2 a 4 mm. U automatizovaného se používají průměry 0,8, 1,1 a 1,6 mm.

## 2.7 Svařovací proud

### Svařování stejnosměrným proudem:

#### a) přímá polarita:

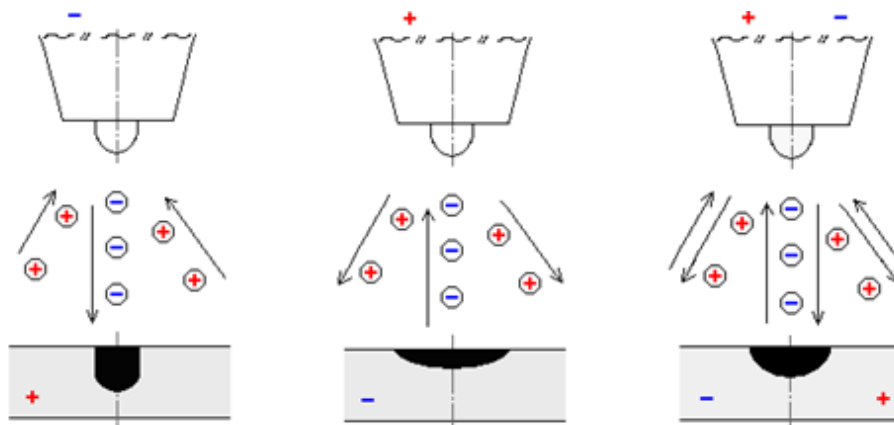
Wolframová elektroda připojena na záporný pól zdroje svařovacího proudu a základní materiál na kladný pól. V elektrodě se vyvíjí zhruba  $1/3$  veškerého tepla oblouku a zbytek  $2/3$  na základním materiálu. Proto wolframová elektroda není tolik tepelně namáhána. Máme k dispozici větší množství tepla pro snadnější tavení materiálu a tím je i větší závar svarové lázně. Vyhotovené svary jsou úzké s velkou hloubkou závaru. Svařování stejnosměrným proudem se používá pro většinu ocelí, mědi titanu a jeho slitin. [5]

#### b) nepřímá polarita:

Při opačném zapojení, než u předchozích případů, bude wolframová elektroda vystavena tepelnému namáhání a hrozí odtavení. Pokud toto zapojení používáme tak jen z důvodů čistícího efektu, ale musí být zabezpečené chlazení elektrody. Většinou nepřímou polaritu používáme na potažené materiály vrstvou oxidů. [5]

### Svařování střídavým proudem:

Při svařování střídavým proudem dochází k periodickému střídání polarity. Střídavým proudem může zároveň měnit a využít výhod přímé a nepřímé polarity. Při připojení elektrody na kladný pól dochází k čištění základního materiálu od oxidů, ale více se namáhá elektroda. Ve druhé části je polarita obrácená, elektroda je připojena na záporný pól, a tudíž dochází k ochlazování a zároveň k natavování základního materiálu. Při svařování střídavým proudem dochází při nižších proudech k nestabilitě oblouku. Toto kolísání může zapříčinit vady ve svarovém kovu nebo také nemožnost samotného svařování. Můžeme použít usměrňovací efekt, kdy se stejnosměrná složka omezuje kondenzátorovou baterií. [5]

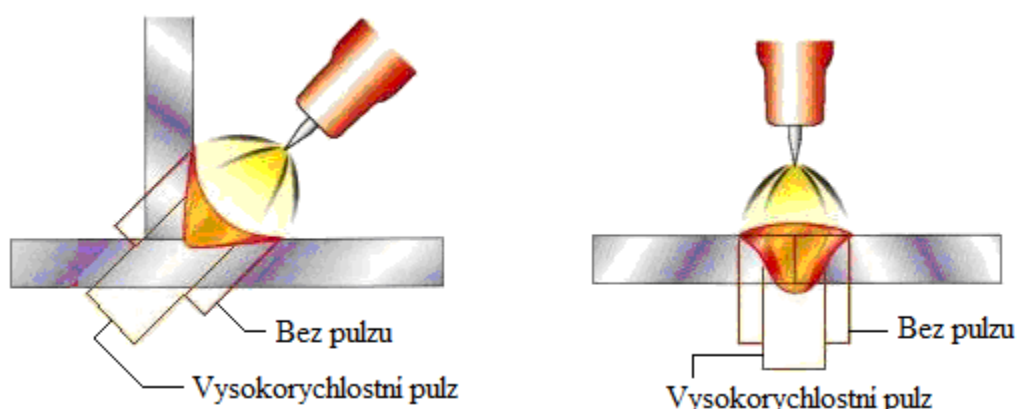


**Obrázek 8: Druhy svařovacích proudů [11]**

### **Svařování impulsním proudem:**

Impulsní svařování patří mezi nejmodernější metodu svařování metodou TIG. Intenzita proudu se mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami: mezi základním proudem  $I_z$  – tento proud slouží k ionizaci a impulsním proudem  $I_p$  – tento proud slouží k natavení materiálu. Tento typ svařování lze použít pro stejnosměrný proud, tak i pro střídavý proud. Dle charakteru pak může mít průběh proudu tvar pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový atd. [5]

K výhodám pulsního svařování můžeme zařadit spoustu aspektů, například lepší celistvost, mechanické a plastické vlastnosti svaru. Do tepelné zóny se nevnaší tolik tepla, tím se nám materiál tolik nedeformuje. V neposlední řadě nesmíme opomenout velkou škálu regulace svařovacího proudu. [5]



**Obrázek 9: Vyobrazení pulsního svařování [12]**

## 2.8 Ochranný plyn

Ochranné plyny zabezpečují ochranu netavicí se elektrody, svarové lázně a jejího okolí proti vlivům okolního vzduchu, především proti oxidaci a naplynění. Spolu vytváří příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilitu, tvarování a přenos tepla do svaru. [6]

Mezi nepoužívanější plyny patří argon a helium. Argon, který je netečný plyn je levný a díky své hustotě se v něm dobře zapaluje oblouk, zabraňuje defektům při nestejně dlouhém oblouku. Naopak helium umožňuje svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí, zvětšuje hloubku závaru a rychlost svařování. Směs obou plynů kombinují kladné vlastnosti argonu a helia. [6]

Pokud chceme kvalitně zavařit titan, musíme použít helium nebo argon o čistotě alespoň 99,995%. Nesmíme také zapomenout na nepřesáhnutí rosného bodu, který nesmí překročit teplotu  $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$

Veškeré části rozvodového systému musí být čisté, velmi dobře utěsněné a bez vlhkosti. Systém musí zajistit, aby rosný bod v blízkosti hořáku nepřesáhl  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Není nejvhodnější používat gumové hadice, kvůli její porózitě. Taky kubíček [6]



**Obrázek 10: Tlaková láhev s argonem**

## 2.9 Plynová zařízení pro ochranu titanu

### Svařovací komora:

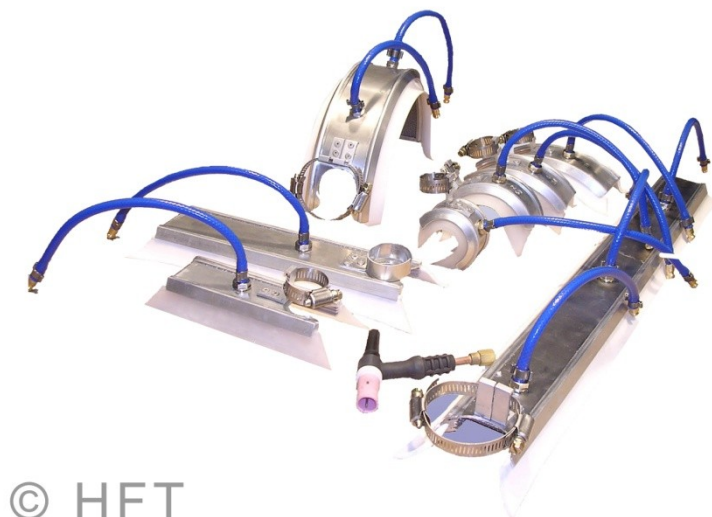
Jedná se o uzavřenou komoru, do které vedou gumové rukavice. Do této komory upevníme výrobek, který chceme svařovat, vypustí se z něj vzduch a naplní se argonem. Trh nám nabízí různé velikosti těchto komor, ovšem jsou omezeny velikostí. Můžeme také použít komoru z plexiskla, ale v těchto komorách nelze dosáhnout tak vysokého stupně vakua. Nejvhodnější svařovací komory jsou z plastového vaku, jak můžeme vidět níže na obrázku. [6]



Obrázek 11: vakuová komora [13]

### Vlečná ochrana:

Tento typ ochrany se používá pro větší konstrukce a hromadnou výrobu. Při této metodě svařování je svařovaná oblast chráněna ochranným plynem z hořáku. Tryska hořáku by měla mít podle rozměru svaru minimálně průměr 20 mm. Nejlépe je používat co největší trysku pro přivedení většího množství ochranného plynu. Velkou pozornost musíme věnovat afinitě titanu k uhlíku, které mají vyšší teplotu než 350 – 400 °C. K tomu slouží sekundární chránění, které tvoří komora uchycená k hořáku. Tvar této ochrany záleží na svařované poloze a tvaru svařované polohy. Komory jsou vyrobeny ze železa, kde spodní strana je z porézního materiálu. Musíme dbát na dobré navržení komory, tak aby plyn proudil do míst svaru a nevznikaly turbulence. Na obrázku jsou znázorněny varianty vlečné ochrany. [3]



© HFT

**Obrázek 12: vlečná ochrana [13]**

### **Ochrana kořene svaru:**

U vlastního svařování titanu musíme chránit také kořen svaru. U svařování spoje trubka trubkovnice musíme vyfoukat vzduch ven z oblasti svaru a naplnit ochranným plynem.



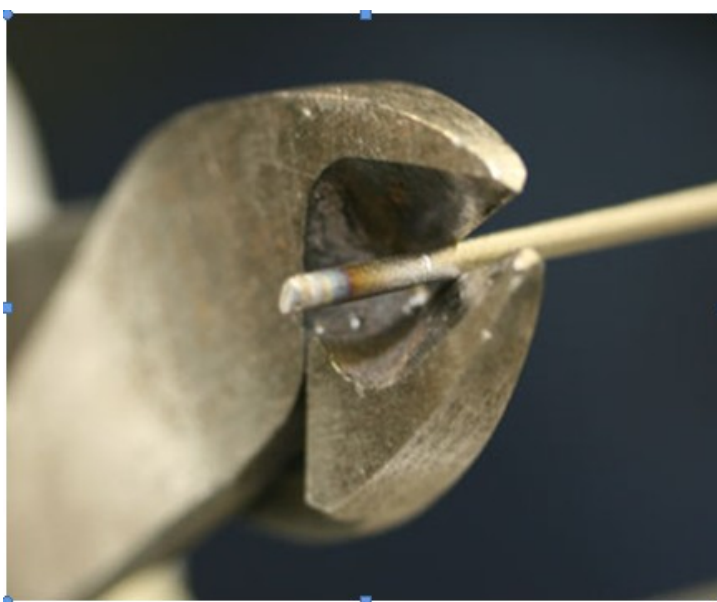
**Obrázek 13: Ochrana kořene svaru trubka – trubkovnice**



## 2.10 Ruční svařování

Ruční svařování i v době dnešní vyspělé techniky se neustále používá hlavně ve specifické výrobě. TIG svařování má své nezastupitelné místo při svařování složitých součástí nebo vybrané speciální výrobě, svařování titanu. Ruční metoda nám zajistí velmi dobré vlastnosti, vysokou čistotu a výborné vlastnosti. [5]

Technika svařovaná metodou TIG nám velmi blízko připomíná svařování plamenem, kde místo teplem plamene se materiál taví teplem oblouku, ale pohyb hořáku a přídavného materiálu je klidnější. Vysokou pozornost musíme věnovat při vlastním svařování, drát se nesmí dostat z oblasti ochranné atmosféry, aby nebyl znečištěn vzduchem. Při znečištění hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce a zanesení oxidů do svarové lázně. Proto je nutno drát před dalším použitím řádně očistit nebo ucvaknout viz. obr. 14. TIG metodou se dá svařovat ve všech polohách, ale svařuje se zpravidla dopředně. V základní poloze je hořák kolmý k příčné ose svaru, čímž se vymezí rovnoměrné nastavení obou polovin svařovaného materiálu. Sklon hořáku v podélné ose je zhruba  $10^\circ$  vzad a úhel sklonu tyčky je  $60^\circ$  -  $80^\circ$  vpřed od kolmice hoření oblouku. [5]



**Obrázek 14: Ucvaknutí drátu**

Elektroda se vysunuje přibližně 4 – 6 mm před úroveň hubice. Pro větší hloubky svaru nebo svary typu V je možno elektrodu vysunout o 25 mm od udávané hodnoty. Avšak důležité je zachování plynové ochrany svaru, proto dbáme na co nejkratší vysunutí elektrody. Pozor se musí dávat také na kontakt se svarovou lázní a elektrodou. Pokud k takovému případu dojde, musíme svar obrousit a očistit. Elektroda musí být také znovu obroušená.

Rychlost svaru závisí na proudu ochranného plynu, pokud zvýšíme rychlost, musí se přímou úměrou zvýšit dávka ochranného plynu. Další velmi důležitá podmínka je nalezení optimálních kombinací proudění plynu a rychlosti svařování. [4]

**Tabulka 6: Parametry pro svařování titanu metodou TIG**

Tloušťka plechu [ mm]	Průměr drátu [ mm]	Průměr elektrody [ mm]	Proud [ A]	Průtok argonu [ l/min]	Průměr trysky [ mm]
≤ 2,4	1,6	1,6	80 -120	6 -7	13 - 16
2,4 – 5,1	1,6 – 3,2	1,6 – 2,4	120 – 210	7 -9	16 -19
6,4	2,4 – 4,0	2,4 – 3,2	140 - 225	7 – 9	19 - 25



### 3 Navrhnete technologický postup svařování Ti slitiny pro tlaková zařízení.

#### 3.1 Vrtání otvorů procesních trubek pro svařování

Zadáním úkolu bylo zjištění možností vrtání otvorů do titanového plechu. Pro tyto účely byl použit titanový plech tloušťky 30 mm - SB265 Gr.2., do kterého bylo vyvrtáno 16 otvorů pro titanové trubky Ø 19,05 x 1,65 – SB338 Gr.2. Poté následovalo vystružení a sražení hran otvorů.

##### Postup operací:

- Přípravení veškerých pomůcek pro rýsování
- Příprava a narýsování otvorů
- Upnutí vrtaného dílu (upínky pokud možno dávat na podložené místo pro zabránění průhybu materiálu)
- Rýsování otvorů dle zadané výkresové dokumentace
- Důlčikování otvorů
- Navrtávání otvorů
- Vrtání

Pro vrtání byl použit vrták Ø18.5mm a postupným laděním bylo dosaženo optimálních podmínek pro použitý vrták a chlazení.

Číslo pokusu:	Otáčky vrtáku (ot./min)	Posuv vrtáku (mm/ot.)	Vyhodnocení
1	180	0,25	Přehřívání materiálu – nevyhovující
2	125	0,40	Přehřívání materiálu – nevyhovující
3	90	0,25	Přiměřený ohřev – vyhovující
4	90	0,40	Přehřívání materiálu - nevyhovující

Naměřené časové hodnoty vrtání (jedná se pouze o čisté vrtání, bez dalších úkonů):

1) 1:45 min.    2) 1:35 min.    3) 1:43 min.    4) 1:41 min.    5) 1:38 min.    6) 1:35 min.

Průměrná hodnota činí - 1:40 min./1 otvor

## Vystružování

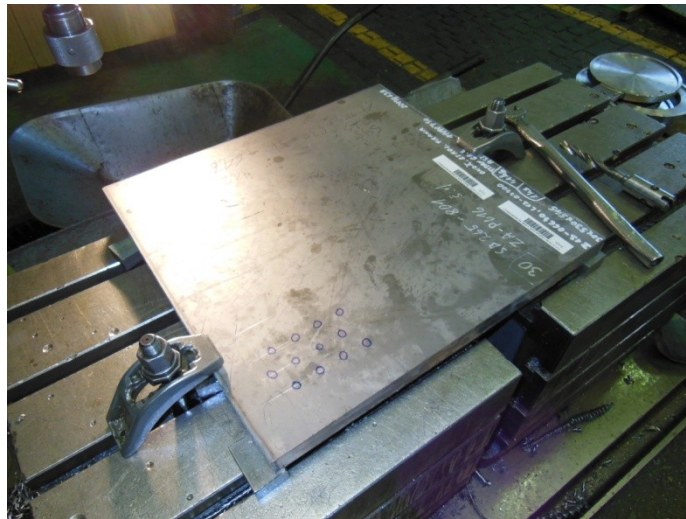
Po vrtání bylo provedeno vystružení na otvor  $\varnothing 19.16\text{mm}$ .

Pro vystružení byly použity tyto parametry: 63ot./min při posuvu 1mm/ot.

Naměřené časové hodnoty vystružování:

1) 0:45 min.      2) 0:45 min.    3) 0:44 min.    4) 0:43 min.    5) 0:43 min.    6) 0:44 min.

Průměrná hodnota činí – 0:44 min./1 otvor



**Obrázek 15: Orýsování Ti plechu**

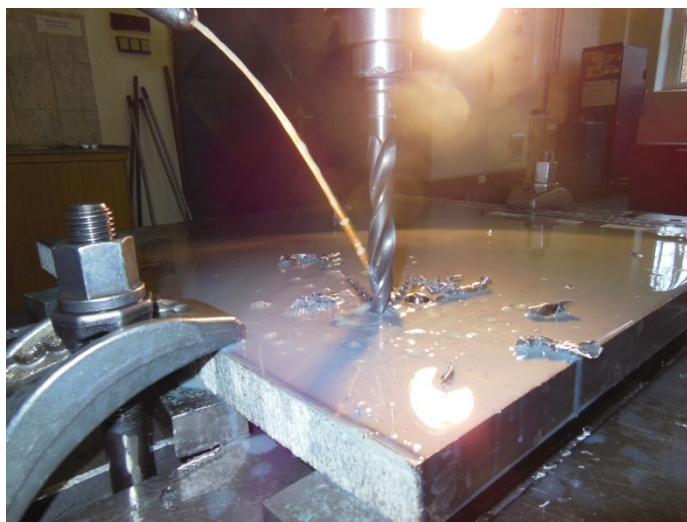


**Obrázek 16: Předvrtání děr**

## Vyhodnocení:

Jak je vidno z předchozích údajů, nejlépe vyhovující parametry pro vrtání byly u pokusu č. 3 –  $vc = 90$  ot/min při posuvu  $f = 0.25$  mm/ot. Obecně je u slitin titanu lepší použití menších otáček a rychlejšího posuvu, jelikož titan má nízkou tepelnou vodivost a zabraňuje rozptýlení tepla do obrobku. Limitujícím faktorem tedy bylo zejména lepení špon na vrták v důsledku vysokého zahřívání, způsobené nedostatečným odvodem tepla.

Při vrtání silnějšího materiálu by se podle všeho musely rychlosti ještě více snížit, jelikož by se ochlazování vrtáku v důsledku hlubší díry a tím zhoršené možnosti odvodu tepla zhoršilo. Možným řešením tohoto problému by mohl být karbidový vrták s vnitřním tlakovým vedením chladicí kapaliny, která zároveň pomáhá s odvodem špon z vrtaného otvoru.



**Obrázek 17: Vrtání děr do Ti plechu**

### **3.2 Dělení Titanové plechu**

Při dělení titanu se zjišťovali nejvhodnější podmínky a možnosti dělení titanových plechů - pálení ve společnosti. Pro test byl použit titanový plech tloušťky 30 mm z materiálu SA265 Gr.2

Jelikož jsou vlastnosti titanu pro mechanické opracování podobné nerezovým materiálům, byly při prvním pokusu použity řezné podmínky a tryska pro tento materiál.

Proud: 280A

Složení plynů: AR + H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> (Argon + Vodík + Dusík)

Rychlost: 400mm/min.

Pálení za těchto podmínek nečinilo žádný problém. Zápal i průjezd materiálem byly v pořádku. Povrch po pálení získal lehce nažloutlou barvu. Struktura však byla velmi vrásčitá a teplotně ovlivněná plocha dosahovala na rovných plochách 6mm a na místech, kde se prováděl oblouk až 10mm.



**Obrázek 18: Zkušební vzorek 1**

Při druhém pokusu byly použity řezné podmínky a tryska pro pálení černého materiálu.

Proud: 280A

Složení plynů: O<sub>2</sub> + AIR (Kyslík + Vzduch)

Rychlost: 600mm/min.

Pálení materiálu opět nečinilo žádný problém. Povrch měl žlutohnědou barvu a vykazoval mnohem menší zvrásnění materiálu, než první pokus. Teplotně ovlivněná zóna byla menší a to 5mm.



**Obrázek 19: Zkušební vzorek 2**

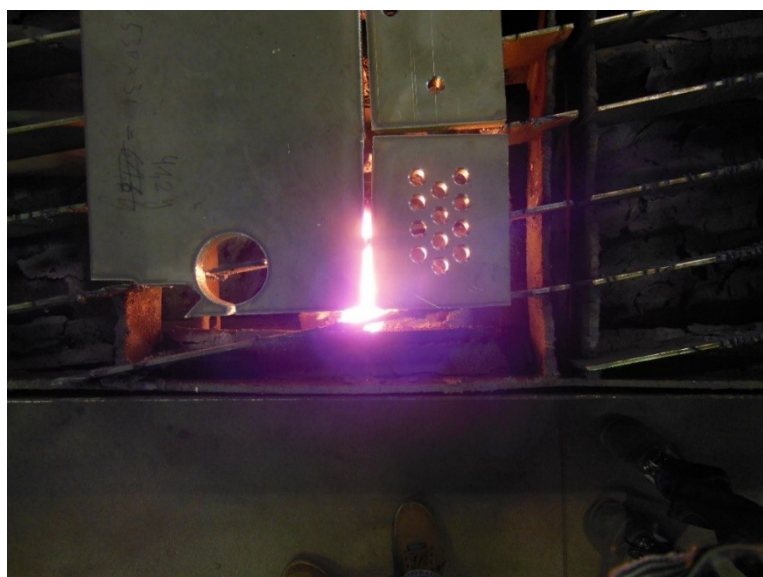


### **Vyhodnocení:**

Dle předchozích zjištění můžeme pálit titanové materiály stejně, jako klasické oceli. Jediným problémem by mohla být tepelně ovlivněná zóna a tím způsobená degradace materiálu, se kterou se musí dopředu počítat. Hloubku degradace zjistíme dlouhodobým pozorováním. Zatím doporučuji přidávat na každou pálenou plochu 10mm a poté mechanicky opracovat.



**Obrázek 20: Vypálené vzorky**



**Obrázek 21: zkušební titanová trubkovnice pro svařování spoje trubka –  
trubkovnice**

### 3.3 Svařování procesních trubek orbitem do trubkovnice

Návrhem svařování procesních trubek do trubkovnice bude realizován jak ručně, tak strojně. Pro tento postup byl použit svařovací zdroj Magic Wave 3000 pro svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu TIG a pro svařování orbitem stroj Orbitec KG100. Jako zafoukávací plyn byl použit Argon - pro titan svařování titanu musí být čistota Argonu minimálně 4,995. Před započítím samotného svařování, byly trubky do trubkovnice usazeny a nastehovány. Všechny svary, krom 2 otvorů ve druhé řadě byly prováděny s materiálem ve vertikální poloze. Tyto dva otvory byly svařovány s materiálem položeným horizontálně.

Pro zjištění možností byly zvoleny 3 metody svařování a zafoukávání svaru, kde vždy pro každou techniku byly použity 4 otvory v řadě, pro minimalizování opakovaných chyb:

- 1 řada - přední zafoukávání ze svařovací hubice
- 2 řada - přední zafoukání ze svařovací hubice + pomocné zafoukávání vnitřku trubky
- 3 řada - použití přístroje Orbitec KG100

#### Metoda č. 1:

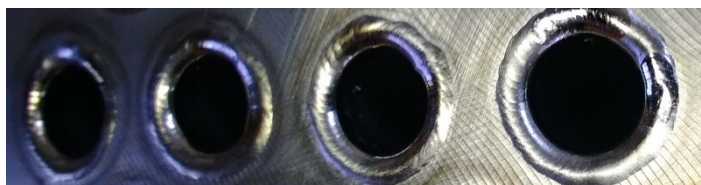
Jednalo se o ruční svařování, se zafoukáváním svaru pouze ze svařovací hubice. Průtok argonu byl nastaven na 13l l/min a proud 88A-110A. Svár vypadal celkově čistě, barva byla stříbrná až nazlátlá, po vychladnutí se však objevily nežádoucí namodralá místa.



Obrázek 22: ruční svařování 1 TIG

#### Metoda č. 2:

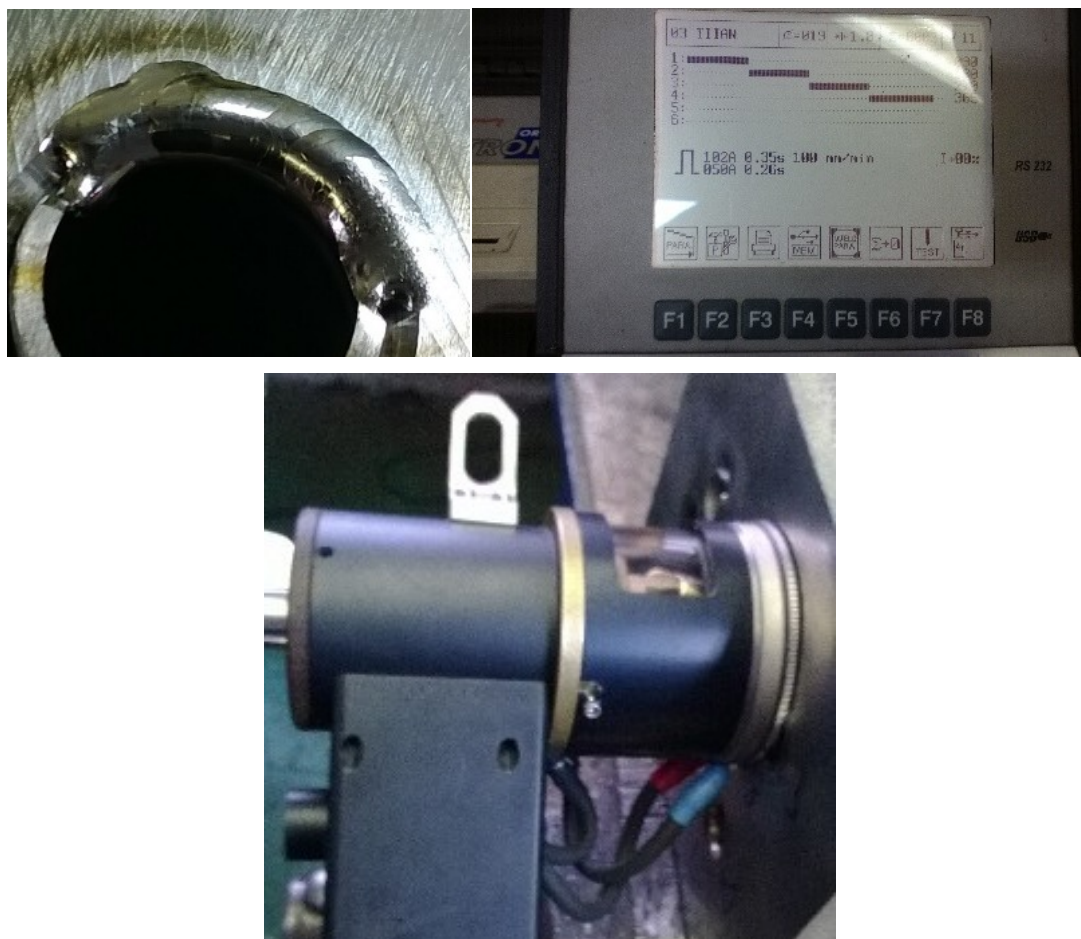
Opět bylo použito ruční svařování se zafoukáváním ze svařovací hubice, ale navíc byla ještě do trubky strčena hadice, ze které proudil argon do trubky a tím tlačil argon i do protisměru svařování. Podmínky svařování byly zvoleny opět úplně stejně, jako v metodě č. 1, s tím rozdílem, že v posledních 2 otvorech byla změněna poloha materiálu z vertikální do horizontální pozice. Celkově byl výsledek stejný, jako v předchozí metodě, avšak s tím rozdílem, že poslední 2 otvory byly lépe zateklé a celkově byly úhlednější. Bohužel se také vyskytl občasně namodralý povrch.



**Obrázek 23: Ruční svařování 2 TIG**

### **Metoda č. 3:**

Pro tuto metodu bylo použito zařízení Orbitec KG100, které by mělo eliminovat veškeré nežádoucí efekty předchozích pokusů. Svár vypadal velice pěkně s čistě stříbrnou barvou, bez známek kazu. Tato metoda se zatím jeví, jako výborně použitelná pro naše účely. Nevýhodou může být delší nastavování svařovacích parametrů a také příprava elektrody pro svařování.



**Obrázek 24: Svar, displej, svařovací hubice Orbitec KG100**

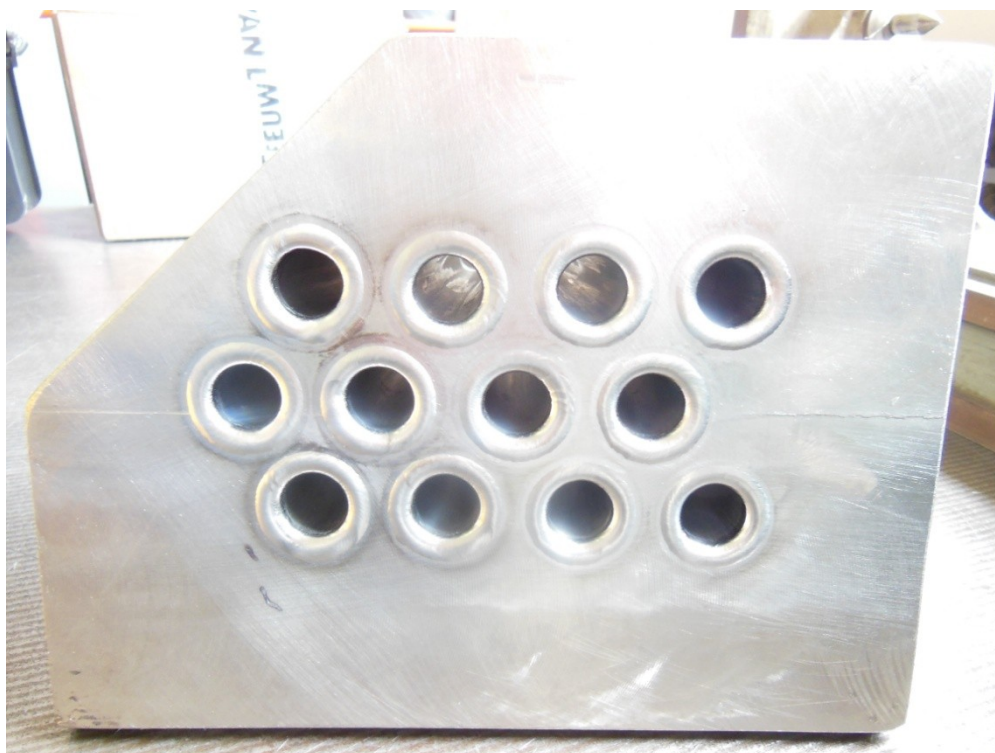
**Výsledek:**

Z výše popsaného plyne, že jsme schopni v naší společnosti svařovat spoj TRUBKA a TRUBKOVNICE. Všechny výše uvedené svary budou odeslány do zkušebny, pro zjištění případných nedostatků a jejich nápravu. Již nyní ale známe některá úskalí, která se musí zohlednit:

Doba chladnutí titanu je velmi dlouhá, tudíž se při stanovení technologie svařování těchto spojů musí počítat s delšími prodlevami pro svařování otvorů sobě blízkých.

Svařování je velmi závislé na kvalitách a individuálním přístupu svářeče, proto by měla být určena skupina ověřených svářečů, kteří se touto problematikou budou zabývat.

Nákup svářecích a čistících pomůcek, používaných POUZE pro svařování titanu!



**Obrázek 25: Trubka - trubkovnice**



## **4 Navrhnete ověření vlastností vybraného svarového spoje.**

Příprava a svařování zkušebních dílců byly provedeny podle postupu svařování pWPS (5.1 svařovací postup) a ze všeobecných podmínek svařování ve výrobě. Pro návrh vlastností svarového spoje byl vybrán jeden spoj trubka trubkovnice svařování automatem Orbitec KG100.

### **4.1 Příprava svarových ploch**

Svarová plocha se připravuje mechanickým obráběním. Pokud dojde k dělení materiálu tepelně, musí být plochy a povrch mechanicky opracován. Takovým způsobem se odstraní nečistoty, oxidy a povrchové nerovnosti. Velkou pozornost musíme věnovat, aby při obrábění nedocházelo k přehřátí, které je doprovázeno přehřátím kovu.

### **4.2 Volba parametrů svařování**


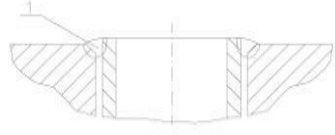
Svařovací parametry byly zvoleny dle možnosti svařovacího zařízení, svařitelnosti základního materiálu, zkušebního nastavení svařovací obsluhy. Optimální parametry byly zvoleny: Svařovací proud v rozmezí 140/75A, napětí 8 -11 V. Veškeré informace jsou uvedeny v protokolu pWPS (5.1)

### **4.3 Svařování automatem Orbitec KG100**

Samostatné svařování probíhalo za pomoci automatu, svařovací hubice se nasadí na svar a za proudění argonu se svařuje, zafoukává se do doby, než dojde ke zchladnutí svaru, do té doby by mohlo hrozit prasknutí svaru. Vyhodnocení svaru je popsáno v následujícím bodě.

## 5 Ověřte vlastnosti vybraného svarového spoje.

### 5.1 Svařovací postup svarového spoje

		<b>SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU</b> Welding Procedure Specification Schweißverfahrenspezifikation		<b>Číslo ATIGA0020</b> Number - Nummer <b>Revize 0</b> Revision
<b>1. Kvalifikace</b> Qualification Qualifikation	<b>2. Kvalifikace podle</b> Qualification in accordance with Qualifikation nach	<input checked="" type="checkbox"/> Asme Code - Section IX <input type="checkbox"/> AD - Merkblatt - HP 2/1 <input type="checkbox"/> DVS 1702 <input type="checkbox"/> Andere: _____		<b>3. Protokol(y) o kvalifikaci</b> Supporting PQR(s) Bericht Über Verfahrensprüfung <b>TITAN</b>
<b>2. Způsob svařování</b> - Welding method - Schweißart <b>2.1 Metoda svařování</b> - Welding process - Schweißverfahren <input type="checkbox"/> OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ OBALENOU ELEKTRODOU Shielded metal - arc welding (SMAW) Lichtbogenschweißen mit umhulter Elektrode (E) <input type="checkbox"/> SVAŘOVÁNÍ POD TAVIDLEM Submerged - arc welding (SAW) Unterpulverschweißen (UP) <input checked="" type="checkbox"/> TIG SVAŘOVÁNÍ Gas tungsten - arc welding (GTAW) WIG - Schweißen (WIG) <input type="checkbox"/> MIG, MAG SVAŘOVÁNÍ (GMAW) AD - Merkblatt - HP 2/1 DVS 1702 <input type="checkbox"/> SVAŘOVÁNÍ PLAMENEM Fuel gas welding Gasschmelzschweißen <input checked="" type="checkbox"/> JINÉ BEZ NETAVNÉ PODLOŽKY Other WITHOUT RETAINERS Anders _____		<b>2.2 Úroveň automatizace</b> - Type of welding - Automatisierungsgrad <input type="checkbox"/> RUČNÍ SVAŘOVÁNÍ Manual welding Handschiessen <input type="checkbox"/> RUČNÍ MECH. SVAŘOVÁNÍ Semiautomatic welding Teilmechanisierte Schweißverfahren <input type="checkbox"/> MECHANIZOVANÉ SVAŘOVÁNÍ Machine welding Vollmechanischeschweißen <input checked="" type="checkbox"/> AUTOMATIZOVANÉ SVAŘOVÁNÍ Automatic welding Automatisierteschweißen		<b>3. Náčrt spoje</b> - Sketch of joint (QW-402) - Schweißskizze 
<b>4. Základní materiál</b> Base metal (QW-403) Grundwerkstoff <b>4.1 Označení</b> Specification: Kennzeichnung: <b>SB 338 Gr.2</b> k _____ to <b>SB 265 Gr.2</b> zu _____ <input checked="" type="checkbox"/> Asme Code <b>51</b> k to <b>51</b> Sec. IX, QW-420 P-č. Sk. č. zu P-č. Sk. č. P-No. Gr. No. P-No. Gr. No. P-Nr. Gr. Nr. P-Nr. Gr. Nr. <input type="checkbox"/> CR ISO 15610 k to Skup. mater. zu Skup. mater. Material Gr. Material Gr. W - Gr. W - Gr.		<b>TLOUŠŤKA SVARU DO ÚKOSU (t)</b> Groove weld thickness: <b>MAX 1,82</b> Nahtdicke: _____ mm <b>PODLOŽKA</b> <input type="checkbox"/> ANO <input checked="" type="checkbox"/> NE Backing Yes No Unterlage Ja Nein <b>VÝŠKA KOUTOVÉHO SVARU</b> Fillet weld throat: _____ mm Kehlnahtdicke: _____ mm <b>MATERIÁL PODLOŽKY:</b> Backing material: _____ Werkstoff der Unterlage: _____		
<b>4.2 Rozsah tloušťek (T)</b> Thickness range: <b>1,49÷1,82</b> Dickenbereich: _____ mm <b>4.3 Rozsah průměrů</b> Diameter range: <b>11,15÷20,96</b> Durchmesserbereich: _____ mm <b>5.3 Tavidlo - Flux - Schweißspulver</b> <b>5.3.1 Obchodní označení</b> Trade mark: Geschäftskennzeichnung: _____ <b>5.3.2 Označení podle:</b> Specification in accordance to <input type="checkbox"/> ČSN <input type="checkbox"/> AWS Kennzeichnung laut <input type="checkbox"/> DIN <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ISO <b>5.3.3 Označení specifikace:</b> Denomination of specification ČSN _____ Spezifikation kennzeichnung DIN _____ ISO _____ SFA _____		<b>5. Přídavný materiál</b> - Filler material (QW-404) - Schweißzusatz <b>5.1 Tavicí se elektroda, přídavný drát</b> Consumable electrode, fillet wire Abschmelzende Elektrode, Zusatzdraht <b>5.1.1 Obchodní označení:</b> Trade mark: Geschäftskennzeichnung: _____ <b>5.1.2 Označení podle</b> Specification in accordance to ČSN _____ EN _____ Kennzeichnung laut ISO _____ AWS _____ <b>5.1.3 Označení specifikace (standardu)</b> Denomination of specification in ČSN _____ Spezifikation (Standard) EN _____ kennzeichnung ISO _____ AWS _____ <b>5.1.4 F-Číslo:</b> - F-No. - F-Nr. _____ <b>A-Číslo:</b> - A-No. - A-Nr. _____ <b>5.1.5 Chemické složení svarového kovu:</b> Chemical analysis of the weld deposit: Chemische Zusammensetzung des Schweißgutes: _____ Ti [%] <b>5.1.6 Typ drátové elektrody:</b> <input checked="" type="checkbox"/> PLNÁ <input type="checkbox"/> PLNĚNÁ Type of wire electrode: Solid Flux cored Type der drahtenelektrode: Voll Gefüller <b>5.2 Tavná vložka:</b> <input type="checkbox"/> ANO <input checked="" type="checkbox"/> NE Consumable insert: Yes No Schmelzfullstück: Ja Nein <b>5.2.1 Chemické složení tavné vložky:</b> Chemical analysis of the consumable insert: Chemische Zusammensetzung der Schmelzfullstück: _____		
<b>5.4 Přesušení přídavných materiálů</b> Redrying of filler materials Schweißzusatztrocknung		<b>5.4.1 Režim přesušení:</b> Rebaking procedure: Nahttrocknungsvorschrift: _____		

<b>6. Plyn - Gas (QW-408) - Gas</b> <input type="checkbox"/> TOPNÝ PLYN Fuel gas Brenngas <input checked="" type="checkbox"/> PRÍMA PLYNOVÁ OCHRANA Shielding gas Schutzgas OZNAČENÍ PLYNU Gas specification ARGON Gaskennzeichnung SLOŽENÍ PLYNU 99,998% Ar Composition Gaszusammensetzung <input type="checkbox"/> KÖRENOVÁ PLYNOVÁ OCHRANA Backing gas Wurzelschutzgas OZNAČENÍ PLYNU Gas specification Gaskennzeichnung SLOŽENÍ PLYNU Composition Gaszusammensetzung <input type="checkbox"/> DOPLŇKOVÁ PLYNOVÁ OCHRANA Trailing gas Zusatzschutzgas OZNAČENÍ PLYNU Gas specification Gaskennzeichnung SLOŽENÍ PLYNU Composition Gaszusammensetzung				TYP PLYNU Type of gas Gasart  PODLE in acc. to laut PRŮTOK 8+10 l/min Flow rate Gasmenge		<b>7. Předehřev, dohřev - Preheat, Postheat (QW-406) - Vorwärmen, Nachwärmen</b> TEPLOTA PŘEDEHŘEVU: Preheat temperature: min 16 °C Vorwärmtemperatur: MEZIVRSTVOVÁ TEPLOTA: Interpass temperature: max 120 °C Arbeitstemperatur: DOHŘEV PO SVARENÍ: Preheat maintenance: min - °C Nachwärmen nach Schweißen:			
<b>10. Svařovací parametry</b> Welding parameters Schweissparametern				<b>8. Tepelné zpracování po svaření</b> N.A. Postweld heat treatment (QW-407) Wärmebehandlung nach dem Schweißen ROZSAH TEPLŮT PRODLEVVY: Temperature range: - °C Temperaturbereich: DOBA PRODLEVVY: Time range: - hod Warmhalten:					
<b>9.1 Tupý svar</b> Butt or groove weld Stumpfnah <input type="checkbox"/> PA 1G w <input type="checkbox"/> PC 2G q <input type="checkbox"/> PE 4G u				<b>9.2 Koutový svar</b> Filled weld Kehlnah <input type="checkbox"/> PF/PG 3G <input type="checkbox"/> PF/PG 5G <input type="checkbox"/> H-L 045 6G <input type="checkbox"/> PB 2F h <input type="checkbox"/> PA 1F w <input type="checkbox"/> PD 4F hu <input type="checkbox"/> PB 2FR					
<b>9.3 Směr svařování svislých svarů</b> Vertical welding progression - A4, B4 Vertikale position - Schweißen - 3G, 3F <input checked="" type="checkbox"/> ZDOLA NAHORU Upward Senkrecht - s				<input checked="" type="checkbox"/> SHORA DOLŮ Downward Fallend - f					

VRSTVA Layer Lage	METODA SVAŘOVÁNÍ Welding process Schweißverfahren	PŘÍDAVNÝ MATERIÁL Filler material Schweißzusatz	PROUD Current Strom	ROZSAH PROUDU Amperage Stromstärke	NAPĚTÍ Voltage Spannung	RYCHLOST SVAŘOVÁNÍ Welding speed Schweißgeschwindigkeit	MINIMÁLNÍ TEPELNÝ PŘÍKON Min. heat input Stroekenergie	POZNÁMKY NOTES Bemerkungen
1	GTAW	-	-	140/75	8-11	-	-	QW-403.9 - No pass shall be greater than 12.7 mm. Žádná vrstva nesmí být větší než 12,7 mm  TYP PROUDU = nebo - Current type D.C. or A.C. Strom Art = oder -  POLARITA: NEPŘÍMA nebo PŘÍMA Polarity: DCIP or DCIN Polung: Unzekkehrte oder Normale




<b>11. Svařovací podmínky - Welding conditions (QW 409,410) - Schweißbedingungen</b> <b>11.1 Přenos kovu v oblouku</b> <input type="checkbox"/> ZKRATOVÝ <input type="checkbox"/> BEZZKRATOVÝ <input type="checkbox"/> SPRCHOVÝ Mode of metal transfer Short circuiting Globular Kurzschluss Kurzschlussfrei Spray Sprühend Werkstoffübergang im Lichtbogen <b>11.2 Pulsní proud</b> <input checked="" type="checkbox"/> ANO <input type="checkbox"/> NE Pulsing current Yes/Ja No/Nein Impulsstrom ZÁKLADNÍ PROUD DOBA TRVÁNÍ Base current 140 A Duration 20 s Mindestschweißstrom Dauer MAXIMÁLNÍ PROUD DOBA TRVÁNÍ Peak current 75 A Duration 30 s Spitzenstrom Dauer <b>11.3 Druh a rozměr wolframové elektrody:</b> Type and measurement of tungsten electrode: Wth: Ø2,4 Art und Abmessung der Wolframelektrode: <b>11.4 Technika vytváření housenky</b> <input checked="" type="checkbox"/> BEZ ROZKYVU <input type="checkbox"/> S ROZKYVEM Bead making technique String Strichraupe Weave Pendelraupe Raupenbildung <b>11.5 Počet elektrod</b> Electrode number Elektrodenzahl <b>11.6 Počet vrstev pro 1 stranu</b> Pass number per one side Lagenzahl pro eine Seite <b>11.7 Drážkování</b> <input type="checkbox"/> ANO <input checked="" type="checkbox"/> NE Back gouging Yes No Ja Nein Wurzelausträumen METODA - method - methode: -				<b>11.8 Výkyv</b> <input type="checkbox"/> ANO <input checked="" type="checkbox"/> NE Oscillation Yes/Ja No/Nein Pendeln <b>11.9 Rozměr plynové hubice:</b> Gas orifice size: 6+10 mm Schutzgasduse: <b>11.10 Vyložení elektrody:</b> Wire extension: N.A. Freies Drahtende: <b>11.11 Způsob čištění svaru:</b> Weld cleaning method: BRUSHING, HAMMERING, GRINDING Schweissnahtreinigung: BRUSKA, KLADIVO, KARTÁČ <b>11.12 Prokování svaru:</b> N.P. Peening: Hammering der naht: POZNÁMKY - Notes - Bemerkungen: QW-410.64 - NOT USED			
--	--	--	--	--	--	--	--

VYPRACOVAL - Prepared by - Ausgearbeitet von		SCHVÁLIL - Approved by - Genehmigt von	
DATUM - Date	PODPIS - Signature - Unterschrift	DATUM - Date	PODPIS - Signature - Unterschrift
5.12.2013			

## 5.2 Protokol o zkoušení svarového spoje trubka – trubkownice

Ověření vlastností svarového spoje bylo testováno ve testing centru Vítkovice testing center s.r.o.

Na níže uvedením protokolu může vidět, co bylo při zkouškách zjištěno.

 <b>VITKOVICE</b> VITKOVICE TESTING CENTER		VITKOVICE TESTING CENTER s.r.o. Pokračická 556/142 798 00 Ostrava-Hrabůvka		  Zkušební laboratoř č. 1036 akreditovaná ČIA	
<b>PROTOKOL O ZKOUŠENÍ</b>				Číslo protokolu	P/895/14
ke zkušebnímu listu č. 25897				Strana č./ počet stran	1/3
<b>Zákazník</b> ONDRSTROJ Ondřejovická strojárna, s.r.o. Hybernská 1271/32, Nové Město 110 00 PRAHA 1		<b>Výrobek</b> Zkušební deska pro PQR  <b>Rozměry</b>			
<b>Zakázka č.</b> P-616-1 <b>Objednávka č.</b> 25897		<b>Materiál</b>  <b>Tavba č.</b>			
Doplnující údaje o zkoušeném výrobku:  Základní materiál: trubka ø 19,05 x 1,65 mm, jakost SB 338 Gr.2 plech tl. 30 mm, jakost SB 265 Svářeč č.: 14 Výkres č.: P-616-1-ZK1					
Vzorek č. / Datum přijetí 1-ZK1/M1, 1-ZK1/M2, 1-ZK1/M3, / 2014-04-08					
Zkoušky požadované zákazníkem		Zkušební metoda (norma) / Technické podmínky		Použité postupy	
Makrostruktura		ASME CODE, SEC. IX		1	
Postup č.	Pořadové č.	Instrukce systému managementu (metodika zkoušení)		Zkušební zařízení	
1	209	Q1 - VTC.20 GEN - 0028 Zjišťování vad ve svarových spojkách		VTC.20/030	
	Jméno	Podpis	Datum	Prohlášení: Dosazené výsledky se týkají pouze zkoušeného předmětu. Protokol je možno reprodukovat pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem zkušebny.	
Zkoušel	Helena Jančíková		2014-04-16		
Kontroloval	Zdeňka Šestáková		2014-04-16		

## PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Číslo protokolu	P/895/14
Strana č./ počet stran	2/3

### Zápis o zkoušení

#### **Makrostruktura**

Makrostruktura byla kontrolována po naleptání 15% HF (potíráním zkušebních vzorků).  
Výsledky hodnocení jsou uvedeny v tabulce:

Vzorek č.	Makrostruktura	Obr.
1-ZK1/M1-I	neprůvar h=0,5 mm / neprůvar h=0,9 mm	1
1-ZK1/M1-II	neprůvar h=0,5 mm / neprůvar h=1,0 mm	1
1-ZK1/M1-III	neprůvar h=0,6 mm / neprůvar h=1,3 mm	1
1-ZK1/M1-IV	neprůvar h=0,6 mm / neprůvar h=1,0 mm	1
1-ZK1/M2-I	neprůvar h=0,7 mm / neprůvar h=0,9 mm	2
1-ZK1/M2-II	neprůvar h=0,6 mm / neprůvar h=1,0 mm	2
1-ZK1/M2-III	neprůvar h=1,0 mm / neprůvar h=1,0 mm	2
1-ZK1/M2-IV	neprůvar h=0,6 mm / neprůvar h=1,0 mm	2
1-ZK1/M3-I	neprůvar h=1,0 mm / neprůvar h=1,0 mm	3
1-ZK1/M3-II	neprůvar h=0,7 mm / neprůvar h=1,0 mm, / trhliny h=0,3 mm	3
1-ZK1/M3-III	neprůvar h=1,0 mm / neprůvar h=1,3 mm	3
1-ZK1/M3-IV	neprůvar h=0,4 mm / neprůvar h=1,3 mm	3

### Výsledek zkoušení

Makrostruktura vzorků č. 1-ZK1 je dle ASME CODE, SEC. IX nevyhovující.

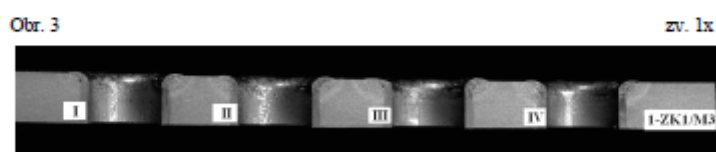
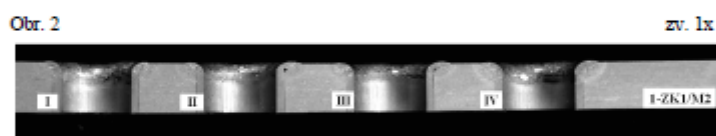
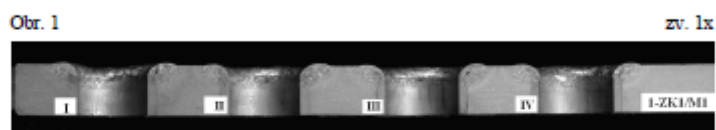
2014-04-16  
tel. +420 59595 2518

Ing. Zdeněk Štorkán  
vedoucí metalografické zkušebny

## PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Číslo protokolu	P/895/14
Strana č./ počet stran	3/3

### Makrostruktura (lept. 15% HF)

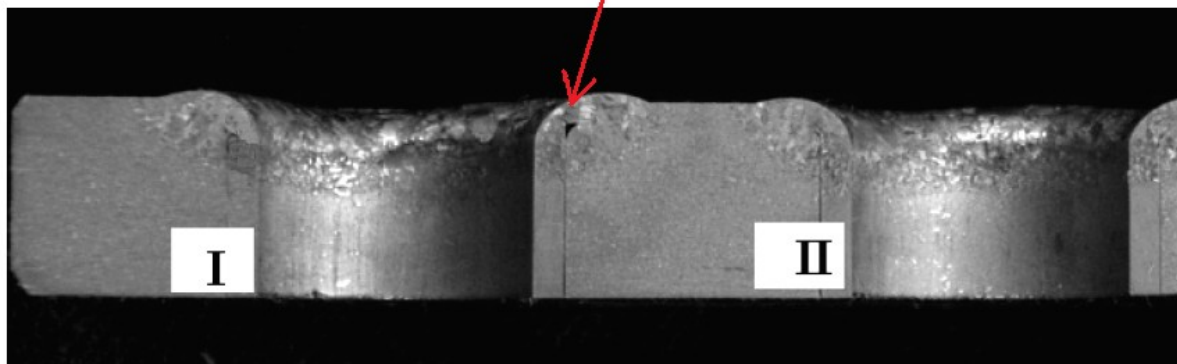


Protokol je platný pouze s příslušnou stranou č. 1

Z těchto rentgenových snímků je evidentně vidět, že docházelo k defektům při svařování, neprůvary a trhliny jsou na každém svaru vidné.

Obr. 1

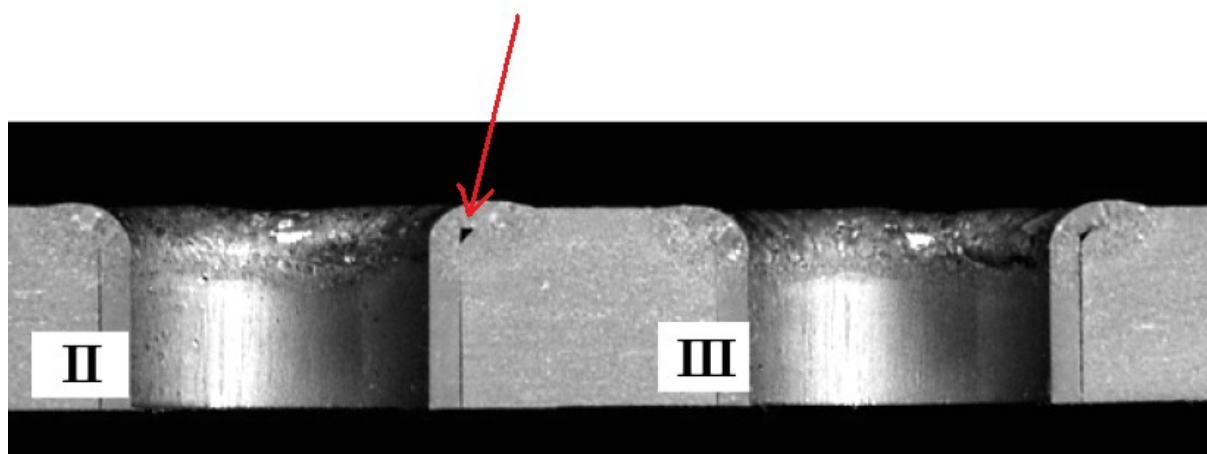
neprůvar  $h = 0,5 \text{ mm}$



**Obrázek 26: Makrostruktura neprůvaru**

Zvětšené vyobrazení makrostruktury, neprůvar je velikosti  $h = 0,5 \text{ mm}$ , z největší pravděpodobnosti špatné vysunutí jehly, špatně zvolený proud svařování. Svar je nevyhovující.

neprůvar  $h = 0,7 \text{ mm}$ , trhlina  $h = 0,3 \text{ mm}$



**Obrázek 27: Makrostruktura neprůvaru a trhliny**

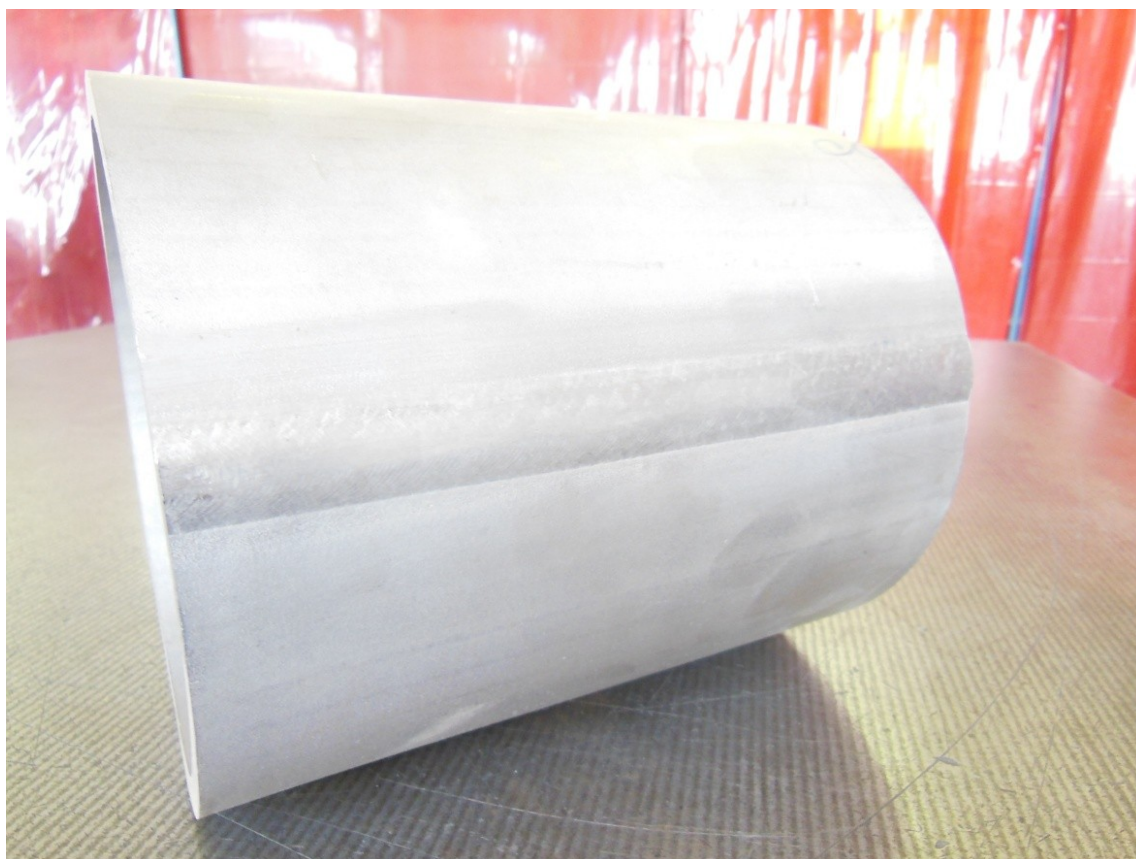
Dle vyobrazení makrostruktury můžeme vidět na vzorku neprůvary a trhliny. Tyto chyby mohly vzniknout více způsoby. Mezi příčiny vzniku těchto defektů můžeme řadit více aspektů. Z největší pravděpodobností je malý svařovací proud, špatné zafoukání ochranným plynem, rychlost svařování nebo špatně očištěné pomůcky ke svařování. Těmto chybám bylo vyvarováno v dalším postupu svařování titanu, upraveny parametry svařování, vysunutí jehly, úkosy svaru  $75^\circ$  a větší zafoukání svaru netečným plynem argonem.

Bohužel tyto výsledky zde nemůžu zahrnout, protože nebylo možné v tak krátké době svařit a vyhodnotit vzorky. Celý vzorek a svar opět nesplňují potřebné požadavky

### **5.3 Podélný svar na trubce**

Na podélném svaru, je vidné z makro a mikro struktur viz. příloha A, že svar splňuje všechny požadované vlastnosti dle normy ASME. U tohoto typu spoje byl použit vhodný svařovací proud 140 A, napětí 10 V, správné vysunutí elektrody, použitá vhodná zafoukávací vlečná zařízení a výdrž po dobu zchladnutí pod  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Byly provedeny zkoušky tvrdosti a přiloženy jsou také protokoly ze zkoušky radiografické.





**Obrázek 28: Podélný svar**

## 6 Závěr

Tato diplomová práce, která nese název NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ TITANOVÝCH SLITIN PRO TLAKOVÁ ZAŘÍZENÍ, již z názvu napovídá o tom, že nejde o jednoduchou problematiku v odvětví strojírenství. V úvodní teoretické části, se každý čtenář seznámí a představí si problematiku vlastností, výroby a fázovými přeměnami titanu a jeho slitin.

V následujícím bodě je ukázána svařitelnost titanu a jeho slitin, potřebné věci, přípravky a podmínky, které potřebujeme k samotnému svařování. Metoda, kterou se bude svařovat titan ve firmě ONDRSTROJ je metoda TIG (141), kterou se budou aplikovat vlastní svary, proto byla rozebrána problematika této metody.

Dostáváme se ke stěžejní problematice této diplomové práce, jde o vlastní návrh svařování titanu. V této kapitole se začíná samostatným vrtáním titanové desky, otvory se vrtají pro vsunutí trubek do trubkovnice. Řezné podmínky, byly zkoumány přímo ve výrobě. Dospělo se k optimálním podmínkám, při kterých bylo vrtání nejefektivnější:  $vc = 90 \text{ ot/min}$  při posuvu  $f = 0.25 \text{ mm/ot}$ . Optimální je vnitřní chlazení vrtáku, aby se chladicí kapalina dostala do místa řezu.

Dělení titanového plechu probíhalo na stroji PIERCE RUR 3500. Použily se řezné podmínky a tryska pro pálení klasického černého plechu. Proud: 280A, složení plynu: ( $O_2 + \text{AIR}$  (Kyslík + Vzduch)), Rychlost  $vc = 600 \text{ mm/min}$ . Při těchto podmínkách se vykazovalo dělení plechu nejlépe, ovšem nesmíme zanedbat ovlivněnou zónu, která může být až do 10 mm, tudíž musíme k dělení plechu připočíst přídavek.

Další část práce je samostatné svařování, na které musíme klást velký důraz. Svařování probíhalo jak ručně, tak i strojně. Ruční metodou byly nastaveny tyto svařovací parametry: proud 88A-110A a průtok argonu 131 l/min na zafoukání svarů. Stroj ORBITEC KG100 parametry zůstaly stejné, nevýhodou však může být delší čas nastavení svařovací hlavy.

Ověření vlastností svaru bylo prováděno v akreditované zkušebně Vítkovice testing centr. Výsledky, byly zahrnuty i zde v této práci. Makro zobrazení ukázalo, že byly ve vzorcích neprůvary a trhliny. Tyto defekty mohly být způsobeny více aspekty, které byly v dalším postupu svařování upraveny a poslány znovu na detailní rozbor.

Dnes, pokud někdo vysloví slovo svařování, každý se jen pousměje a řekne, že není problém svařit jakýkoliv materiál, ovšem toto tvrzení se může velmi rychle vyvrátit. Jakým způsobem? Jednoduchá odpověď je svařování titanu a jeho slitin. Osobně jsem si

tímto cyklem prošel a není svařovat „materiál jako materiál“. Svařování titanu je opravdu velmi obtížný proces, který musí být založen na znalostech všech obsluhujících pracovníků od jeho vrtání až po konečné svařování.

Ze všeho co jsme se doposud dočetli, je velmi nutné mít profesionální vybavení počínaje od rukavic svářeče, měděných kartáčů, přípravků na zafoukání svaru a přístup na vysoké úrovni. Tyto pomůcky již firma vlastní a neustále se zdokonaluje a dokupuje potřebné vybavení.

Vyslovíme – li slovo prostor, dostáváme se do další fáze, kdy prostory musí být vyhrazeny jen pro svařování titanu a jeho slitin. Toto prostředí musí být dokonalé čisté, odsávání profesionální. Zde je slabá stránka firmy, kdy tyto prostory jsou teprve v přípravě.

Na vybraných vzorcích, které jsou zde i znázorněny (**Obrázek 29**), je vidno, že makro a mikro zkouškách je patrný neprůvar a trhliny. Tyto aspekty mohly být zapříčiněny více faktory. Již od samotné manipulace materiálu, špatně zafoukaná svařovaná oblast nebo špatně nastavený proud při svařování. Těmto chybám se vyvarovalo, podmínky pro svařování a manipulaci upravily. Došlo k zavaření nového vzorku, který se bude opět testovat. Bohužel zde nemohly být zahrnuty další výsledky z časového hlediska. Firma Ondrstroj a.s. je schopna svařovat titan za podmínek vyladění všech okolností do dokonalosti a bude zaměstnávat velmi kvalitní odborníky, kteří se budou věnovat této problematice.

Tabulka, která je uvedena níže nám detailně vyobrazuje materiálové náklady, pokud bychom zahrnuli mzdy všech pracovníků, částka by ještě vzrostla.

**Tabulka 7: Materiálové náklady**

<b>Celkové materiálové náklady pro zkušební vzorky svařování titanu trubka - trubkovnice</b>	
<b>Položka</b>	<b>Cena</b>
Plech Titan Gr.2, ASME SB 265 – 8x1500x1750mm	75 465 Kč
Trubka Titan Gr.2, ASME SB 862 – 168,3x3x10,97 – 1000 mm	36 450 Kč
Svářečské kladivo – měděné	1500 Kč
Rukavice	140 Kč
Měděný kartáč	259 Kč
<b>Celková cena 113 814 Kč</b>	

## 7 Použitá literatura

- [1] Pokyny pro zpracování titanu a slitin titanu dle ASTM standards, ASTM Gr. 1 až Gr. 11
- [2] Fakulta dopravní. *Využití titanu* [online]. 2008 - 2010 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.fd.cvut.cz/personal/vavrdond/text4.html>
- [3] FMML. *Využití titanu* [online]. 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/87937>
- [4] FSI. Svařování rámu jízdního kola z titanové slitiny [online]. 2010 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/18187/2010\\_BP\\_Richter\\_Tomas\\_101204.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/18187/2010_BP_Richter_Tomas_101204.pdf?sequence=1)
- [5] TIG svařování. [online]. 2010 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
- [6] KUBÍČEK, Jaroslav Technologie II část svařování: Díl 1 Základní metody tavného svařování. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2006
- [7] Vlastnosti a použití titanu. [online]. 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.nom.wz.cz/KOVY/titan.htm>
- [8] TIG hořák. [online]. 2013 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.hstcebora.cz/katalog/prislusenstvi/plazmove-horaky/cp-161/schema-horaku-s104cz>
- [9] Elektrody. [online]. 2013 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.svorecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-356/>
- [10] Elektrody. [online]. 2013 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.svorecky-obchod.cz/prislusenstvi/elektrody/wolframove-elektrody-tig/2026-wolframova-elektroda-tig-1-0-mm-cervena.htm%5D>
- [11] Zdroje svařovacího proudu pro TIG svařování. [online]. 2012 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2008122801>
- [12] TIG svařování nepřímá a přímá polarita. [online]. 2012 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008122801>
- [13] TIG welding titanium solutions. [online]. 2014 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <https://www.arc-zone.com/blog/joewelder/category/welding-tips/>

## **8 Seznam příloh**

Příloha A – Titan podélný svar – protokol testing centrum Ostrava

## Poděkování

Rád bych využil této příležitosti a vyjádřil touto cestou poděkování panu Ing. Romanu Stárkovi, který byl mým konzultantem a uvolnil pracovníky, prostory a finanční prostředky na vývoj technologie svařování titanu. Dále patří poděkování panu Ing. Jaroslavu Plašilovi – (IWE – internacional welding engineer) za poskytnutí a vysvětlení znalostí z oblasti svařování a jeho zaštitění. Další pracovník, který si zaslouží velké díky je pan Jakub Temňák, který spolupracoval semnou na přípravách a veškerých úkonech zpracování titanu až po jeho samotné svařování. V neposlední řadě bych také rád poděkoval všem, kteří se ve firmě jakýmkoliv způsobem podíleli na přípravě a dokončení diplomové práce na téma svařování titanu.

Poděkování patří také panu Ing. Martinu Sondelovi Ph.D. vedoucímu diplomové práce za odborné rady a trpělivost.